

Termiittikekojen kemiallisen ja mineralogisen
koostumuksen suhde kekojen väriin ja kekoja ympäröivään
maaperään ja kallioperään Taita Hills Wildlife Sanctuaryn
alueella Etelä-Keniassa

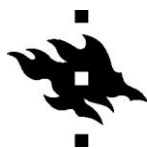
Elina Leppäniemi

Pro gradu -tutkielma

Helsingin Yliopisto

Geotieteiden ja
maantieteen osasto

12.5.2019



HELSINGIN YLIOPISTO
HELSINGFORS UNIVERSITET
UNIVERSITY OF HELSINKI

| | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta | | Laitos/Institution– Department Geotieteiden ja maantieteen osasto | |
| Tekijä/Författare – Author Elina Leppäniemi | | | |
| Työn nimi / Arbetets titel – Title Termiittikekojen kemiallisen ja mineralogisen koostumuksen suhde kekojen väriin ja kekoja ympäröivään maaperään ja kallioperään Taita Hills Wildlife Sanctuaryn alueella Etelä-Keniassa | | | |
| Oppiaine /Läroämne – Subject Geologia | | | |
| Työn laji/Arbetets art – Level Pro gradu -tutkielma | | Aika/Datum – Month and year 04/2019 | Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages 59 |
| Tiivistelmä/Referat – Abstract <p>Termiitit ovat tärkeä osa Afrikan savannien ekosysteemiä. Termiitit kaivavat materiaalin kekon rakentamiseen useiden metrien syvyydestä maaperästä. Taita Hills Wildlife Sanctuaryn alueella on kekoja, jotka ovat väritään punaisia, ruskeita tai harmaita. Termiittikekojen kemiallista ja mineralogista koostumusta tutkittiin XRF- ja XRD-menetelmillä ja selvitettiin menetelmän soveltuvuutta kallioperäkartoitukseen. Tuloksia verrattiin kekojen väreihin, alueen kallioperäkarttaan ja 5m päästä keoista otettuihin maaperänäytteisiin.</p> <p>XRF-analyysin mukaan punaisissa kekonäytteissä SiO₂-pitoisuus vaihtelee välillä 72,52–77,39, ruskeissa 68,85–71,13 ja harmaissa 61,36–62,89 paino-%. Suurimmat erot kemiallisessa koostumuksessa on CaO-pitoisuuksissa. Harmaissa kekonäytteissä CaO-pitoisuus on 13,30–13,76, ruskeissa 6,42–8,14 ja punaisissa alle 1 paino-% CaO. MgO-pitoisuus on kaikissa näytteissä alle kaksi paino-%, ja FeO-pitoisuus vaihtelee välillä 3,59–5,53 paino-%. Mäa-peränäytteissä SiO₂-pitoisuudet olivat kekonäytteitä suurempia ja CaO-pitoisuudet pienempiä. Muuten tulokset ovat keon ja maaperän välillä samankaltaisia.</p> <p>XRD-analyysien mukaan punaisten kekojen mineraalit ovat kvartsi, mikrokliini ortoklaasi ja albiitti. Lisäksi niistä löytyy hematitiittiä ja kaoliniittiä. Ruskeiden ja harmaiden kekonäytteiden päämineraalit ovat kvartsi, kalsiitti, albiitti, anortiitti, mikrokliini ja ortoklaasi. Mineraalikoostumus on maaperänäytteissä samankaltainen. Punainen väri kekoihin tulee hematitiitista. Harmaan värin taustalla on rapautuneen marmorin iskos, joka sisältää kalsiittiä. Ruskeiden kekojen materiaali on eniten sekoittunutta.</p> <p>Kekojen kemialliset tai mineralogiset koostumukset eivät suoraan korreloi alueen kallioperäkartan mukaisten kivilajien koostumusten kanssa. Kekojen koostumus vastaa sitä ympäröivän rapautuneen maaperän koostumusta. Menetelmää ei voi käyttää suoraan kallioperäkartoitukseen, mutta sillä voidaan kartoittaa alueita, joissa on karbonaattihorisontti.</p> | | | |
| Avainsanat – Nyckelord – Keywords Termiitit, keot, XRF-analyysi, XRD-analyysi, maaperä, kallioperä, kartoitus, mineraalit | | | |
| Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Kumpulan kampuskirjasto | | | |
| Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information 17 kuvaa, 3 taulukkoa, 3 liitettä | | | |



| | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty Faculty of Science | | Laitos/Institution– Department Department of Geosciences and Geography | |
| Tekijä/Författare – Author Elina Leppäniemi | | | |
| Työn nimi / Arbetets titel – Title Termiittikekojen kemiallisen ja mineralogisen koostumuksen suhde kekojen väriin ja kekoja ympäröivään maaperään ja kallioperään Taita Hills Wildlife Sanctuaryn alueella Etelä-Keniassa | | | |
| Oppiaine /Läroämne – Subject Geology | | | |
| Työn laji/Arbetets art – Level Master's thesis | | Aika/Datum – Month and year 04/2019 | Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages 59 |
| Tiivistelmä/Referat – Abstract <p>Termites are important part of the ecosystem of African savannas. Termites dig several meters deep to get the material they use for building mounds. The color of the mounds in Taita Hills Wildlife Sanctuary are red, brown and grey. Chemical composition and mineralogy of the termite mounds were examined by XRF- and XRD-methods and the applicability to use these methods for mapping the bedrock were ascertained. The results were compared to color of the mounds, the geological map of the area and to soil samples 5 m away from the mounds.</p> <p>According to XRF-analyses the red mound samples have 72,52–77,39, brown mounds 68,85–71,13 and grey mound 61,36–62,89 m-% SiO₂. The largest differences in chemical compositions are in CaO. In grey samples concentration is 13,30–13,76 CaO, brown samples have 6,42–8,14 and red samples below 1 m-% CaO. MgO-content is in all mound samples below 2 m-% and FeO-content changes between 3,59–5,53 m-%. The soil samples have bigger values in SiO₂ comparing to the mound samples and CaO-content is less. In other cases, the results between mounds and soil were similar.</p> <p>According to XRD-analyses the minerals of the red mound are quartz, microcline, orthoclase and albite. Additionally, there are hematite and kaolinite. The minerals of the brown and grey mounds are quartz, calcite, albite, anorthite, microcline and orthoclase. The mineral compositions in soil samples are similar. Red color comes from hematite. Grey color comes from cement which is from weathered marble and contains calcite. The material in brown mounds are most intermingled.</p> <p>The chemical and mineral compositions of the mounds do not correlate with the rocks of the geological map of the area, but they correlate with weathered soil around the mounds. It is not possible to map the bedrock due with this method, but you can use it for mapping the carbonate horizons.</p> | | | |
| Avainsanat – Nyckelord – Keywords Termites, mounds, XRF-analyses, XRD-analyses, soil, bedrock, mapping, minerals | | | |
| Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Kumpula Campus Library | | | |
| Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information 17 figures, 3 tables, 3 appendices | | | |

SISÄLLYSLUETTELO

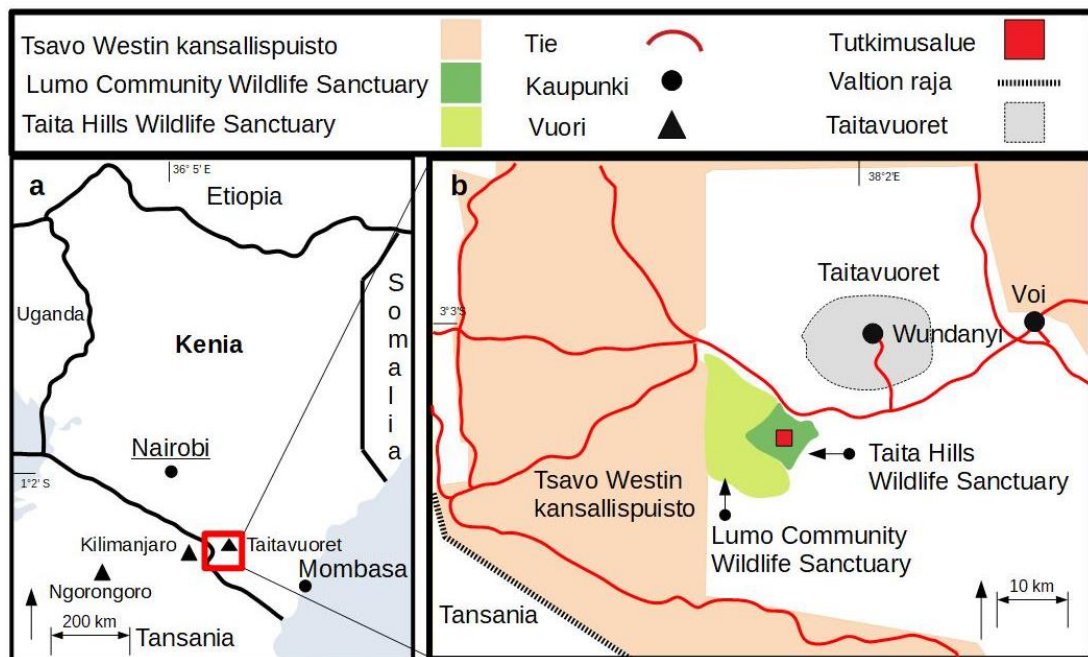
| | |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| 1. JOHDANTO | 5 |
| 1.1 Taitavuoret ja Taita Hills Wildlife Sanctuary | 5 |
| 1.2 Termitit ja termiittikeot | 7 |
| 1.2.1 Termitit | 7 |
| 1.2.2 Termiittikeot | 7 |
| 1.2.3 Termiittikeko mineralogisena tutkimuskohteena | 8 |
| 2. GEOLOGINEN TAUSTA | 10 |
| 2.1 Alueen kallioperägeologia | 10 |
| 2.1.1 Pan-Afrikan orogenia | 10 |
| 2.1.2 East African Orogeny (EAO) ja Mozambique Belt (MB) | 11 |
| 2.1.3 MB Keniassa | 12 |
| 2.1.4 Kurase-Kasigau-ryhmä ja Taita Hills Wildlife Sanctuary | 14 |
| 2.2 Rapautuminen Taitavuorten alueella | 17 |
| 2.2.1 Fysikaalinen rapautuminen | 17 |
| 2.2.2 Kemiallinen rapautuminen | 17 |
| 2.3 Taitavuorten ympäristön maaperägeologiaa | 19 |
| 3. AINEISTO | 21 |
| 4. TUTKIMUSMENETELMÄT | 24 |
| 4.1 Näytteiden käsittely | 24 |
| 4.2 XRF | 25 |
| 4.3 XRD | 26 |
| 5. TULOKSET | 26 |
| 5.1 Valomikroskopia | 27 |
| 5.2 XRF | 31 |
| 5.2.1 XRF-tulokset kekonäytteistä | 31 |
| 5.2.2 XRF-tulokset maaperänäytteistä | 34 |
| 5.2.3 XRF-tulokset värin mukaan | 37 |
| 5.3 XRD | 40 |
| 5.3.1 XRD-tulokset kekonäytteistä | 40 |
| 5.3.2 XRD-tulokset maaperänäytteistä | 41 |
| 5.3.3 XRD-tulokset värin ja intensiteetin mukaan | 42 |
| 6. TULOSTEN TARKASTELU | 44 |
| 6. 1 Menetelmän soveltuvuus aineistoon ja keskeiset tulokset | 44 |

| | |
|----------------------------------------------------------|-----------|
| 6.2 Kekojen koostumuksen suhde kallioperään | 45 |
| 6.3 Kekojen ja maaperän koostumuksen suhde | 48 |
| 6.4 Kekojen värierot | 50 |
| 7. JOHTOPÄÄTÖKSET | 51 |
| 8. KIITOKSET | 53 |
| VIITELUETTELO | 54 |
| LIITTEET..... | 57 |

1. JOHDANTO

1.1 Taitavuoret ja Taita Hills Wildlife Sanctuary

Taitavuoret sijaitsevat päiväntasaajan läheisyydessä Etelä-Keniassa (38°E , 3°S) lähellä Tansanian rajaa (Kuva 1a). Taitavuoria ympäröivät laajat Tsavon kansallispuistoalueet, jotka jakaantuvat kahteen osaan: Länsi- ja Itä-Tsavoon. Taita Hills Wildlife Sanctuary ja Lumo Community Wildlife Sanctuary ovat isoja kansallispuistoja pienempiä yksityisiä suojelualueita Länsi-Tsavon ja Taitavuorten välissä (Kuva 1b). Taita Hills Wildlife Sanctuary on kooltaan noin 110 km^2 . Tutkimusalue sijaitsee sen keskiosassa. Suojelualueiden välissä ei kulje raja-aitoja, joten koko alue on yhtenäistä, vapaata aluetta ja esimerkiksi eläimien vapaa liikkuminen on alueella mahdollista.



Kuva 1a. Tutkimusalue sijaitsee Etelä-Keniassa Taitavuorten länsipuolella lähellä Tansanian rajaa (Helsingin yliopisto 2018). Kuva 1b. Taitavuorten länsipuolen kansallispuistot ja suojelualueet ovat Tsavo West, Lumo Community ja Taita Hills Wildlife Sanctuary. Tutkimusalue sijaitsee Taita Hills Wildlife Sanctuarin suojelalueen keskiosissa (Expert Africa 2017).

Taita Hills Wildlife Sanctuary on pääosin tasankoa, joka on noin 800–900 m merenpinnan yläpuolella. Läheisyydessä olevat Taitavuoret ovat korkeudeltaan noin 1200–2200 m merenpinnan yläpuolella, korkeimmillaan yli 2200 metriä (Vuria).

Köppenin ilmastoluokituksen mukaan Etelä-Kenia kuuluu trooppiseen puoliaavikkoalueeseen (BSh) (Strahler ja Strahler 1997). Vuodenaikojen mukaan vallitsee vuorotellen kuivakausi ja sadekausi. Sadekaudet ovat maaliskokuussa ja loka-joulukuussa. Sademäärät ovat tasankoalueilla alhaiset, noin 500 mm tai sen alle, ja vuosittainen vaihtelu on suurta. Kasvillisuusvyöhykkeenä on ruohosavanni. Ruohikkokerros on ohut ja yleisimmät puut ovat akaasia ja afrikanmirhapuu, joita on tasangolla harvakseltaan.

Etelä-Kenian ja pohjoisen Tansanian alueella sijaitsee tulivuoria kuten Ngorongoro ja Kilimanjaro. Ngorongoron kaldera on osa vulkaanista kompleksia, jossa on ollut aktiivista tulivuoritoimintaa 3,7–1,79 miljoona vuotta sitten (Scoon 2018). Ngorongorosta on purkautunut pääasiassa alkalibasalttia ja trakyyttiä. Tulivuoren viimeisin aktiivinen vaihe oli noin 2 miljoonaa vuotta sitten tapahtunut romahdus. Räjähdysmäisesti purkautunut tulivuori levitti ympäristöönsä valtavan määrän tuhkaa, joka peitti allensa lähitienoot. Ngorongoron tulivuoren etäisyys tutkimusalueesta on noin 300 km.

Lännessä, Tansanian puolella noin 50 km päässä tutkimusalueesta, on Afrikan korkein vuori Kilimanjaro, jonka huippu kohoaa 5895 metriin. Kilimanjaro koostuu kolmesta tulivuoresta Kibosta, Mawenzista ja Shirasta, joista Kibo on edelleen aktiivinen. Kilimanjaro syntyi noin 750 000 vuotta sitten ja on purkautunut useita kertoja (Nonnette et al. 2008). Viimeisin tapahtuma oli noin 200 vuotta sitten.

Taita Hills Wildlife Sanctuaryn alueella sijaitsee kohta (Salt Lick), jossa eläimet käyvät juomassa ja täydentämässä suolavarastoja. Sadekausien aikana tälle alueelle muodostuu vesiallas. Vesi virtaa siihen sadekauden aikana jokea pitkin, jonka alkulähteet ovat Taita Hillsin rinteillä. Kuivana aikana joki kuivuu, mutta altaan kohdalla voi silloinkin olla vähän vettä.

1.2 Termitit ja termiittikeot

1.2.1 Termitit

Termitit (*Isoptera*) ovat kooltaan pieniä hyönteisiä, jotka elävät suurissa yhdyskunnissa. Eri termiittilajeja on tuhansia. Yhdyskunnan koko vaihtelee sadoista yksilöistä jopa miljooniin. Termiittejä esiintyy yleisesti trooppisten ja kuumien ilmastojen alueella. Termitit ovat tärkeässä roolissa näiden alueiden maannosten ekosysteemissä ja maaperän muokkaamisessa. Jokaisella yksittäisellä termiitillä on tehtävä yhdyskunnassa: kuningatar, kuningas, työläinen, sotilas tai tuottaja. Ne keräävät orgaanista materiaalia ruuaksi ja rakentavat pesänsä mineraaliaineksesta. Samalla niiden toiminta parantaa maaperän huokoisuutta. Termitit jaotellaan sen mukaan, minkä mallisia kekoja ne rakentavat ja miten ne ruokailevat. Afrikassa merkittävimmät termiittilajit ovat sientä (*fungus*) kasvattavat lajit eli *Isoptera macrotermitinae*, jotka rakentavat katedraalin mallisen, jopa 20 metriä korkean, keon pesänsä päälle. Keot ovat tyypillistä maisemaa Afrikan ruohotasangoilla.

1.2.2 Termiittikeot

Termitit rakentavat piippumaisen kekonsa maa-aineksesta syljen avulla. Termitit rakentavat keon pesänsä päälle huolehtiakseen pesän tuuletuksesta ja tasalämpöisyydestä. Maanpinnalla näkyvä osuus on kekoa ja varsinainen termiittipesä sijaitsee keon alla maanpinnan alapuolella.

Termiittikekojen koko vaihtelee paljon riippuen lajista, iästä ja maaperän koostumuksesta. Tarvittava mineraaliaines tuodaan ympäristöstä ja maan sisältä. Termitit pystyvät hakemaan materiaalia kekojen rakentamiseen syvältä läheltä pohjavedenpinnan tasoa. Termiittikekojen väriin, mineraalikoostumukseen ja CaCO_3 -pitoisuuteen vaikuttavat lähtökivi ja termiittien suorittama valinta keontekovaiheessa (Myjinya et al. 2012). Muvengwi et al. (2018) tutkimuksessa Zimbabwen semi-aridisella ruohikkotasankoalueella termiittikekojen koko oli kaksinkertainen geologialtaan graniittisella alueella verrattuna basalttisen kallioperän alueeseen. Kekojen tiheys oli

kuitenkin samaa luokkaa molemmilla alueilla. Termiittikekojen korkeus on suoraan suhteessa siihen, kuinka syvältä keon materiaali on peräisin (Arhin et al. 2015).

1.2.3 Termiittikeko mineralogisena tutkimuskohteena

Mineraali on alkuaine tai epäorgaaninen yhdiste, joka esiintyy luonnossa kiinteässä olomuodossa. Mineraalit muodostavat kiviä ja kivilajit kallioperän. Jokaisella mineraalilla on sille ominainen koostumus ja kiderakenne. Maapallolta on löydetty yli 3 000 erilaista mineraalia. Mineraaleja voidaan tunnistaa ja tutkia niiden kemiallisen koostumuksen, fysikaalisten ominaisuuksien (väri, kovuus, kiilto yms.) ja kiderakenteiden avulla.

Kallioperäkartoitusta kartan laatimista varten tehdään perinteisesti niin, että tutkitaan kalliopaljastumia, otetaan näytteitä kivivasaralla ja merkitään niiden sijainnit karttaan. Näytteistä tutkitaan mineraalit ja tehdään päätelmä kivilajista. Kartta piirretään näytteistä tallennettujen koordinaattien, tunnistettujen kivilajien ja rakennegeologisten mittausten perusteella. Tämä menetelmä ei kuitenkaan toimi hyvin alueella, jossa on paksut rapautuneet maaperäkerrokset kallioperän päällä ja kalliopaljastumia on vähän. Myös tilanteessa, jossa rapautumisolosuhteet ovat voimakkaat, kallion pinnasta otetut näytteet eivät välttämättä edusta kallioperää suoraan vaan rapautumisen vaikutuksia. Tässä tilanteessa voidaan yrittää määrittää alla olevaa kallioperää muiden, epäsuorien menetelmien avulla. Termiittikekojen mineraalikoostumuksen tutkiminen on yksi vaihtoehto menetelmäksi. Esimerkiksi termiittikekojen materiaalia voidaan käyttää mineraaliesiintymän löytymiseen bioindikaattorin tapaan (Reddy 2014).

Tietty metallit kuten Ni, Cr, Co, Pb, Zn, Cu, Fe, Mn, and Mo voivat rikastua termiittikekoihin verrattuna ympäröivään maaperään (Reddy 2014) ja termiittikeon alkuainekoostumusta voidaan käyttää keinona malminetsintään tai saastuneisuuden mittaamisen kaivosympäristössä.

Maitera et al. (2015) tutki Nigeriassa XRD- ja XRF -menetelmillä termiittikeon ja siitä 10 metrin säteellä maaperän keskikoostumuksen mineraaleja ja kemiallista koostumusta.

Tutkimusalueen mineraaleja tunnistettiin kuusi, joista yleisimmät olivat kvartsi, rutiili ja kaoliniitti. Löydettyt pääalkuaineet olivat: Al, Si, S, K, Na, Ca, Mg, Fe, Mn ja Ti. Hivenaineista löydettiin Ni, Cr, V, Cu, Ba, Zn, Sr, As, Ir, Pb, Ga, Rb, Zr, Yb, Eu, Re, and Ag. XRF-mittauksien suurimmat erot keon ja maaperän välillä olivat Si, Al, K, Fe ja Ti kohdalla. Erot olivat kuitenkin pieniä eikä tilastollisesti merkittävää eroa termiittikeon ja maaperän koostumusten välillä esiintynyt. Tutkimuksessa todettiin, että menetelmää voi luotettavasti käyttää maanalaisten mineraaliesiintymien tutkimiseen. Tutkimuksissa ei ole otettu kantaa siihen vastaako kekojen tai maaperän mineraali- ja kemiallinen koostumus alueesta tehtyä kallioperäkartan havaintoja tai onko keon värillä vastaavuutta sen kemialliseen tai mineralogiseen koostumukseen.

Perinteisesti termiittikekojen mineralogialla on tutkittu malminetsinnän yhteydessä (Arhin et al. 2015). Geokemiallisilla menetelmillä on etsitty malmimineraaleja kuten kultaa ja sinkkiä. Tutkimuksen kohteena ovat olleet myös REE-mineraalit. Menetelmänä on yleisimmin käytetty kannettavaa XRF-tekniikkaa. Menetelmä toimii hyvin yksittäisten alkuaineiden kohdalla. Arhin et al. 2015 mukaan termiittikeon kemiallinen koostumus vastaa enemmän kallioperän koostumusta kuin maaperän koostumusta. Toisaalta tutkimuksia, joissa termiittikekojen kemiallista ja mineralogista koostumusta olisi käytetty tarkemmin kallioperän kivilajien tutkimiseen ja tulkintaan, ei löytynyt.

Tässä työssä Taita Hills Wildlife Sanctuaryn termiittikekojen ja niitä ympäröivän maaperän mineraalikoostumusta ja kemiallista koostumusta tutkitaan XRD- ja XRF-menetelmien avulla. Tuloksien avulla selvitetään vastaavatko kemiallinen koostumus, mineraloginen koostumus ja kekojen värit kallioperäkartan kivilajihavaintoja alueesta vai maaperän koostumusta. Termiittikeon väri voi kuvastaa sille ominaista mineraali- ja kemiallista koostumusta. Väri voi kuitenkin tulla kekoihin myös muista syistä. Se voi esimerkiksi olla seurausta rapautuneisuuden kestosta tai raudan määrän eroista. Kekojen sijainnilla on myös merkitystä. Jos maa-aines on voimakkaasti kulkeutunut esimerkiksi valunut rinnettä alas tai on vuosittaisten sateiden kasaamaa, on kekojen materiaali saattanut sekoittua.

Mineraalikoostumuksen ja kemiallisen koostumuksen perusteella arvioidaan, onko termiittipesän avulla mahdollista selvittää lähtömateriaalin kivilaji vai vastaako keon materiaali enemmän ympäröivän maaperän koostumusta. Tuloksien perusteella

arvioidaan syitä kekojen värieroihin. Jos termiittikekojen mineraali- ja kemiallinen koostumus vastaavat maaperän ja/tai kallioperän koostumusta voidaan kekojen väri- ja koostumustietojen perusteella tehdä suoraan tulkintoja maaperästä ja kallioperästä kyseisellä alueella. Jos kekojen tulokset vastaavat hyvin kallioperän kivilajeja, voidaan niitä käyttää kallioperäkartoituksen välineenä. Kallioperäkarttaa voitaisiin tehdä esimerkiksi kartoittamalla termiittikekojen värejä ja ottamalla samasta keosta käsi-XRF:n avulla kemiallinen koostumus.

2. GEOLOGINEN TAUSTA

2.1 Alueen kallioperägeologia

Taitavuorten alueen kallioperän geologinen historia liittyy suurelta osin Pan-Afrikan orogenian eri vaiheisiin. Pan-Afrikan orogenian tapahtumat johtivat lopulta Gondwanan supermantereen muodostumiseen noin 500 miljoonaa vuotta sitten (Kröner ja Stern 2005). Tätä viimeisintä orogeniaa, jossa Mozambique-meri sulkeutui, kutsutaan nimellä Itä-Afrikan orogenia (EAO). Monessa julkaisussa käsitteet Pan-Afrikan orogenian ja Itä-Afrikan orogenian osalta ovat osittain päällekkäisiä eikä niitä käytetä johdonmukaisesti. Sen vuoksi myös aikahaarukat eri tapahtumille ovat ristiriitaisia.

2.1.1 Pan-Afrikan orogenia

Pan-Afrikan orogenia on orogeenisten tapahtumien sarja, jossa on ollut useampia kompressio- ja ekstensiovaiheita. Termiä käytetään kuvaamaan tektonista, magmaattista ja metamorfista aktiviteettiä Gondwanan supermantereella neoproterotsooisella maailmankaudella ja paleotsooisien maailmankauden alkuaikoina noin 850–450 miljoonaa vuotta sitten (Kusky et al. 2003). Tektonisten tapahtumien yhteydessä

muodostui uutta kuorimateriaalia, joka yhdistyi jo aiemmin muodostuneisiin kratoneihin ja näin saivat aikaan laajan kratonialueen.

Pan-Afrikan orogeenian aikana muodostui kahdentyyppisiä orogeenisia vyöhykkeitä (Kröner ja Stern 2004). Ensimmäisen vyöhykkeen kivilajityyppi on magmaattista (ja tulivuorisyntyyistä) alkuperää olevaa vaippalähtöistä materiaalia. Näistä kivistä löytyy viitteitä ofioliiteista, subduktiosta ja granitoideista, jotka voidaan liittää passiiviseen mannerreunaan tai saarikaariin. Toisen vyöhyketyypin kivet ovat läpikäyneet korkean asteen metamorfoosin syvemmällä kuoressa. Nämä kivimassat ovat myös metamorfoituneet useampaan kertaan. Tämän vuoksi niiden alkuperäinen muodostumistapa ja kehitysvaiheet on huomattavasti vaikeampi selvittää. Kivien alkuperän oletetaan olevan mesoproterotsooiselta maailmankaudelta ja arkeeiselta eonilta. Itä-Afrikan Mozambique Beltin (MB) kivilajit, joihin tutkimusaluekin kuuluu, edustavat tätä jälkimmäistä tyyppiä.

2.1.2 East African Orogeny (EAO) ja Mozambique Belt (MB)

Itä-Afrikan orogenia (EAO) ulottuu noin 6000 km Arabian niemimaalta Afrikan eteläisimpiin valtioihin asti. Perinteisesti EAO jaetaan kahteen osaan: pohjoisempi Arabia-Nubian kilpi (ANS) ja eteläisempi Mozambique Belt (MB) (Kröner ja Stern 2004). EAO on tulosta manner-manner-tyypin eli kahden mannerlaatan törmäyksestä, jossa Intian laatta törmäsi Congo-Tansania-Bangwelu-laattaan neoproterotsooisen maailmankauden lopulla. Tapahtumat johtivat Mozambique-meren sulkeutumiseen.

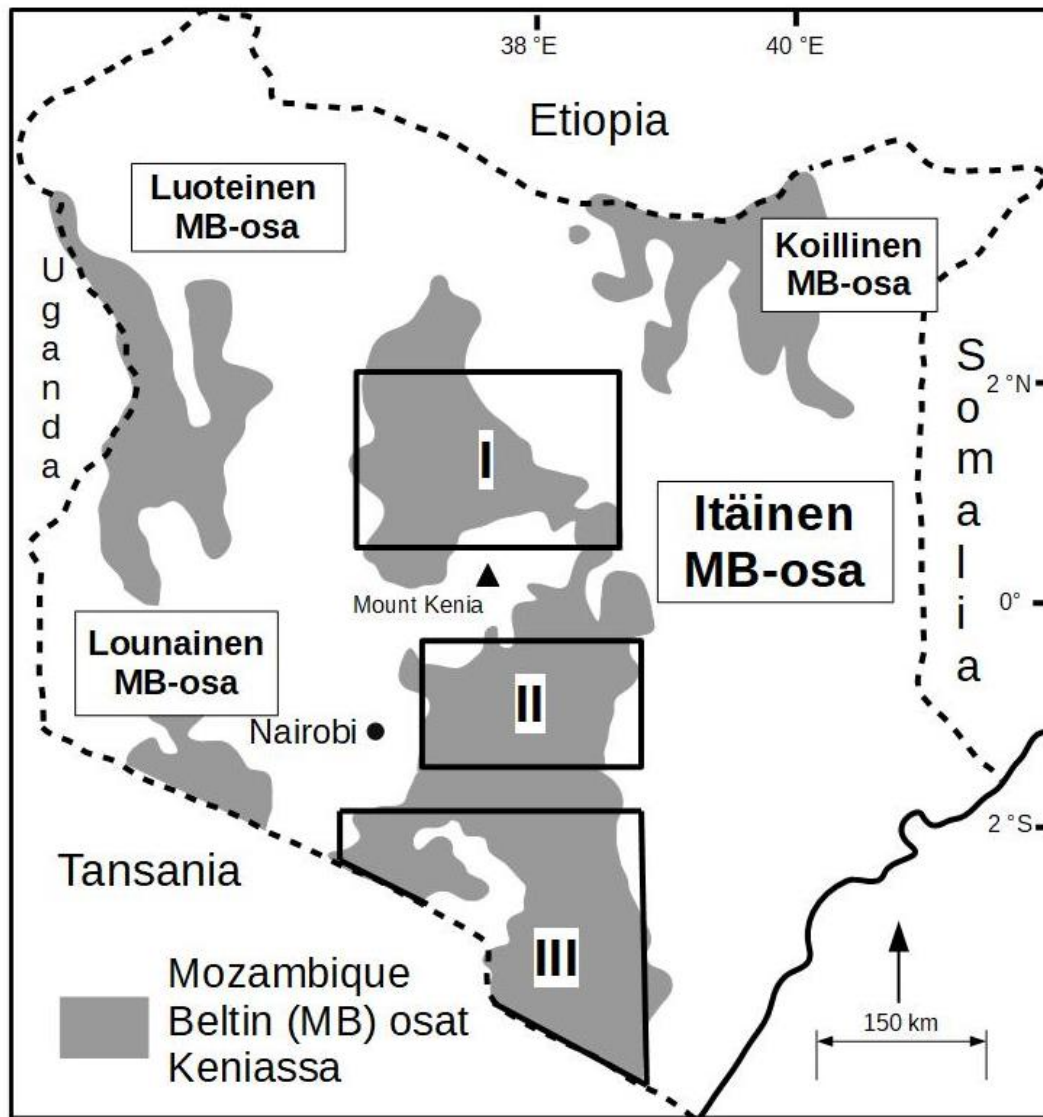
EAO koostuu useiden orogenioiden jaksoista, jotka tapahtuivat noin 850–550 miljoonaa vuotta sitten (Fritz et al. 2013). Meertin (2003) mukaan metamorfoosi on ollut kaksivaiheinen ja sijoittuu aikavälille 750–620 miljoonaa vuotta. Myöhemmästä metamorfisesta tapahtumasta 570–530 miljoonaa vuotta sitten käytetään nimitystä Kuunga Orogeny. Alueen geologinen historia tunnetaan huonosti korkean metamorfoosin, alueen laajuuden ja kartoittamattomien alueiden vuoksi. Tämän vuoksi laattatektoniset teoriat eri vaiheiden ja niiden osien välillä vaihtelevat.

Yleisesti hyväksytty teoria on, että Mozambique Belt on muodostunut Itä- ja Länsi-Gondwanan törmäyksestä ja että se edustaa Itä-Afrikan orogeenin eteläisempää osaa. MB kulkee Etiopiasta Kenian, Somalian ja Tansanian kautta Mosambikiin asti. Myös Madagaskar kuuluu siihen. MB ajoittuu neoproterotsooisien maailmankauden loppuvaiheeseen ja sen kivilajit ovat pääosin keski- ja korkean metamorfoosiasteen gneissejä ja laaja-alaisia granitoideja (Kröner ja Stern 2004).

MB voidaan jakaa läntiseen ja itäiseen pääosaan (Cutten et al. 2005). Läntinen osa eli Western Mozambique Belt (WMB) sisältää amfiboliittifasieksen gneissejä, jotka ovat iältään 2970–2648 miljoonaa vuotta ja ne ovat lähtöisin Tansanian kratonista (Johnson et al. 2003). Läntisen osan mukana on myös osia Usagara Beltin kivistä, jotka ovat nuorempia (1837 Ma). Itäisen osan kivet eli The Eastern Granulites (EG) ovat korkean metamorfoosiasteen kiviä, jotka ovat muodostuneet saarikaarien materiaalista aikavälillä 841–632 miljoonaa vuotta sitten. Isotooppitutkimusten mukaan lähtökivien ikä on välillä 1300–950 miljoonaa vuotta. Materiaali voi olla sekoitus uudemmissa saarikaaren kivistä ja vanhemman kuoren uudelleen sulamisesta. Molemmat MB:n osat sisältävät neoproterotsooisia metasedimenttikiviä, jotka ovat aikanaan kerrostuneet Mozambicmeren altaaseen. Myös molempien osien metamorfoosihuiput ovat tapahtuneet samoihin aikoihin noin 640 ja 550 miljoonaa vuotta sitten. WMB:n ja EG:n erottaa toisistaan voimakas hiertovyöhyke. Tämä näkyy Etelä-Keniassa Taitavuorten itäpuolella, jossa kulkee 20–30 km leveänä Galanan hiertovyöhyke (Hauzenberger et al. 2007). Tutkimusalue kuuluu läntiseen WMB:n alueeseen.

2.1.3 MB Keniassa

MB jaetaan Kenian sisällä neljään osaan: Koillinen (NEMBS), Itäinen (EMBS), Luoteinen (NWMB) ja Lounainen osa (SWMB) (Nyamai et al. 2003). Itäinen osa jaetaan vielä kolmeen osa-alueeseen I, II ja III (Kuva 2). Osa-alue I sijaitsee Keski-Keniassa ja osa-alue III Etelä-Keniassa Kilimanjaron pohjois- ja itäpuolella. Osa-alue II sijaitsee edellä mainittujen välissä. Tutkimusalue kuuluu Itäisen osan osa-alueeseen III.

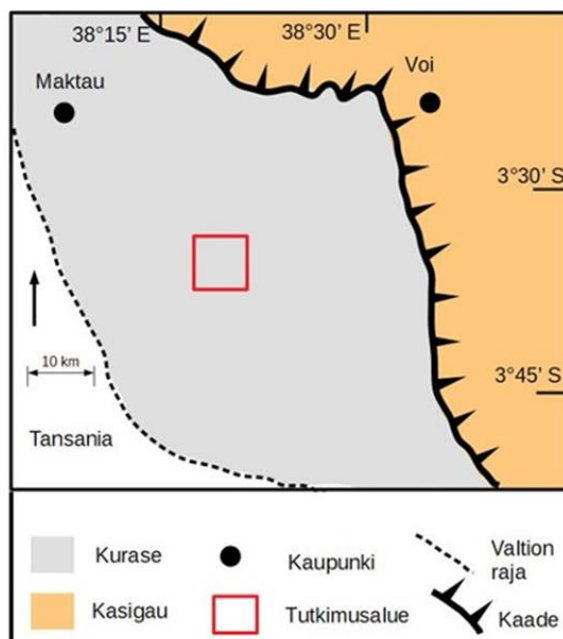


Kuva 2. Mozambique Belt on jaettu Keniassa neljään osaan: Koilliseen, Lounaiseen, Luoteiseen ja Itäiseen osaan. Sen Itäinen osa (EMBS) on lisäksi jaettu kolmeen osa-alueeseen I, II ja III. Taita Hills Wildlife Sanctuary sijaitsee osa-alueessa III, jossa on päälimmäisenä kerroksena metasedimenttikerroksia ja niiden alla on migmatiitteja (Nyamai et al. 2003).

Osa-alueet poikkeavat toisistaan kivilajien ja geologisten prosessien osalta (Nyamai et al. 2003). Osa-alue I:ssä on alimmaisena kerroksena migmatiitteja, joiden päällä on metasedimenttikiviä. Sedimenttisyntyisessä kerroksessa on raitaisten gneissien joukossa metamorfoituneita arkooseja ja hiekkakiviä sekä kvartsiittia. Päälimmäisinä kerroksina on alueita, joissa on mukana marmoria, metapeliittejä ja grafiittipitoista gneissia. Alueella esiintyy myös syn- ja posttektonisia granitoidi-intruusioita. Osa-alueen II kivilajit ovat vaihtelevampia. Pääkivilajina on kiilleliuskeet, sarvivälkepitöiset liuskeet ja gneissit,

joissa voi olla mukana staurolittia, granaattia, kyaniittia ja sillimaniittia. Alueella esiintyy myös amfiboliitteja, graniitteja ja migmatiitteja. Osa-alue II on ainoa alue, jossa on myös mafisia ja ultramafisia kiviä kuten dioriitteja, gabbroja, anortosiitteja, peridotiitteja ja oliviinirikasta alkalibasalttia. Osa-alueen III geologia, jossa tutkimusalue sijaitsee, samankaltainen osa-alueen I geologian kanssa, mutta joitain eroavaisuuksiakin on. Osa-alueelta III puuttuvat gabbrot, anortosiitit ja dioriitit. Erikoisuutena osa-alueella III, erityisesti Taita-Tavetan alueella, ovat sen läpi kulkevat pohjois-eteläsuuntaiset marmoriharjanteet. Marmoriharjanteet voivat kohota jopa 300 metriä tasaisten tasoskoalueiden tasosta (Toya et al. 1973). Alueen stratigrafiset kivilajiyksiköt Taitavuorten länsipuolella ovat Kurase ja Kasigau (Horkel et al. 1979).

2.1.4. Kurase-Kasigau-ryhmä ja Taita Hills Wildlife Sanctuary



Kurase-Kasigau-ryhmän pohjoisessa osassa on päällimmäisenä Kasigau ja eteläisessä osassa on Kurase (Kuva 3). Kurase painuu Kasigaun alle itään ja pohjoiseen suuntaavaan loivan kaateen mukaisesti (Horkel et al. 1979). Tämän vuoksi Kurasen ja Kasigaun yksiköt ovat osittain päällekkäin. Tutkimusalue on eteläisen osan alueella ja sen kivilajit kuuluvat Kurasen yksikköön.

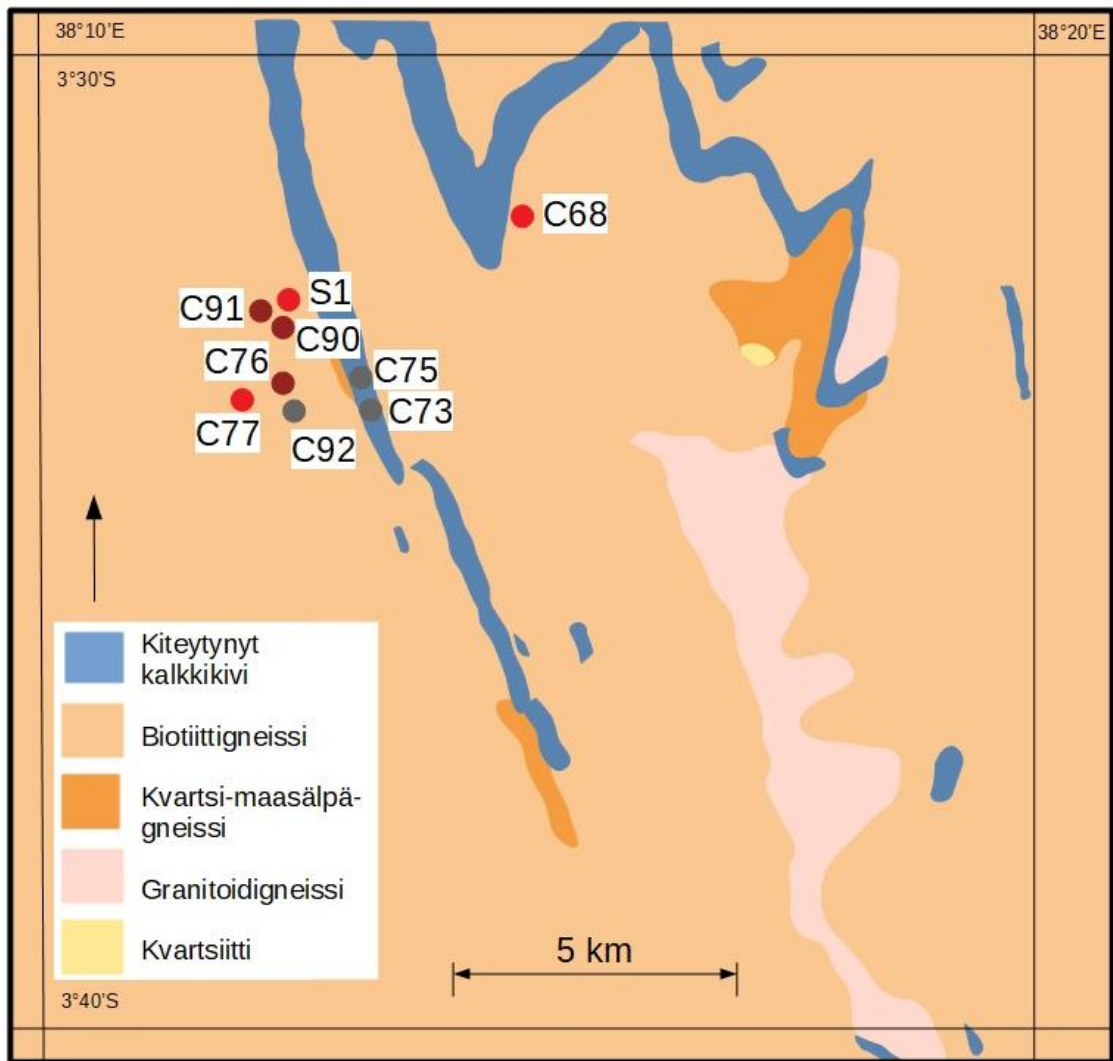
Kuva 3. Taitavuorten länsipuolen kivilajiyksiköt ovat Kurase ja Kasigau. Kurase painuu Kasigaun alle itään ja pohjoiseen suuntaavaan loivan kaateen mukaisesti (Horkel et al. 1979).

Kurasen kivilajit ovat matalanmeren ympäristöön kerrostuneita sedimenttikiviä (Nyamai et al. 2003). Alueen yleisimmät kivilajit ovat biotiitti- ja sarvivälkegneissit, liuskeet, grafiitti-sillimaniitti-kyaniitti-gneissit, marmori ja kvartsiitti (Horkel et al. 1979). Kurasen gneissien päämineraalit ovat kvartsi, kalimaasälpä ja plagioklaasi. Aksessorisina mineraaleina esiintyy mm. biotiittia, muskoviittia, granaattia, grafiittia, kyaniittia,

stauroliittia, magnetiittia ja korundia. Alueen marmori on karkearakeista ja väriltään harmaata. Aksessorinina mineraaleina kalsiitin ja dolomiitin lisäksi esiintyy diopsidia, termoliittia, muskoviittia, kvartsia, granaattia, plagioklaasia ja skapoliittia (Horkel et al. 1979)

Kasigaun kivet ovat pääasiassa paksuja kerroksia massiivisia, hieno/keskirakeisia, vaaleita gneissejä (Pohl ja Niedermayr 1979). Kasigau edustaa syvemmillä mereen kerrostuneita metamorfoituneita grauvakkoja ja muita sedimenttikivilajeja (Nyamai et al. 2003). Metamorfoituneet kivilajit ovat pääasiassa kvartsi-maasälpä-biotiitti-sarvivälke-gneissejä. Paikallisilla siirros- ja hiertovyöhykkeillä esiintyy amfiboliitteja. Migmatiittiutuminen on voimakasta. Kurase- ja Kasigau-ryhmien rajapinnassa esiintyy pieniä kerroksia ultramafisia kiviä, jotka ovat voimakkaasti rapautuneet ja muuttuneet serpentiniiteiksi (Frisch ja Pohl 1986).

Kurase ja Kasigau ovat deformatuneet ainakin kolmessa eri tapahtumassa, joista viimeisimmässä muodostui myös pegmatiitteja (Pohl ja Horkel 1980). Deformaatioissa on muodostunut vertikaalisuuntaisia isokliinisiä ja avoimia poimuja, joiden poimuakselit ovat lähes pohjois-eteläsuuntaisia.



Kuva 4. Taita Hills Wildlife Sanctuaryn alueelle tyypillisin kivilaji on biotiittigneissi. Sen lisäksi esiintyy kiteytynyttä marmoria, kvartsi-maasälpägneissejä, granitoidigneissejä ja pieni esiintymä kvartsiittia (Walsh 1960). Kuvaan on merkitty näytetunnuksilla aineiston näytteiden sijainnit ja pisteen värillä näytteen edustama väriryhmä: punainen, ruskea tai harmaa.

Taita Hills Wildlife Sanctuaryn alueen tyypillisiä kivilajeja ovat kiillegneissit (Walsh 1960). Näiden lisäksi on karkearakeista marmoria, kvartsi-maasälpägneissejä ja granitoidigneissejä (Kuva 4). Kvartsiittia löytyy pieni esiintymä yhden kvartsi-maasälpägneissiesiintymän reunalta. Grafiittigneissejä esiintyy yleisesti Taitavuorten ympäristössä kapeina muodostumina, mutta tutkimusalueelta ei ole havaittu kalliopaljastumista grafiittigneissejä.

Taitavuorten länsipuolen sedimenttikivien zirkonien U-Pb-määrittelyn mukaan on niiden protoliitin ikä 850–960 miljoonaa vuotta (Hauzenberger et al. 2007). Kivissä

näkyvät metamorfoosimuutoksia, joiden iäksi arvioidaan 630–645 miljoonaa vuotta. Alueelta löytyneiden kerrostenväliset pegmatiitit ovat iältään nuorempia noin 560–580 miljoonaa vuotta. Osa alueen kivistä on muodostunut noin 760–840 °C olosuhteissa ja paine on ollut 10–12 kbar (Hauzenberger et al. 2007). Tästä on todistena esimerkiksi sillimaniitin kasvu kyaniitin ympärille ja granaattien näihin paineeseen sopiva vyöhykkeellisyys.

2.2 Rapautuminen Taitavuorten alueella

2.2.1 Fysikaalinen rapautuminen

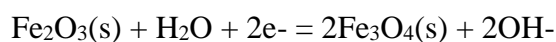
Fysikaalinen rapautuminen rikkoo kivilajeja ja maaperän mineraaleja ja siten nopeuttaa kemiallista rapautumista. Fysikaalista rapautumista aiheuttaa Taitavuorten alueella suuri yö- ja päivälämpötilojen vaihtelu. Biologinen rapautuminen on sekä fysikaalista että kemiallista. Kasvien juuret aiheuttavat mekaanista rapautumista ja orgaaniset hapot kemiallista rapautumista. Taita Hills Wildlife Sanctuaryn alueella juurien vaikutus on vähäinen, koska kasvillisuutta ei ole paljon. Myös puita tutkimusalueella on vain vähän, ja ne ovat sijoittuneet joenuoman reunoille. Biologista rapautumista tapahtuu kuitenkin merkittävästi termiittien toimesta. Termiitit muokkaavat tehokkaasti alla olevaa maaperää etsiessään ruokaa ja sopivaa keonrakennusmateriaalia ja näin toiminnallaan edesauttavat rapautumisprosesseja (Jouquet et al. 2002).

2.2.2. Kemiallinen rapautuminen

Magma- ja metamorfiset kivet ovat syntyneet korkeassa lämpötilassa ja paineessa, eivätkä niiden mineraalit eivät ole stabiileja maanpinnan olosuhteissa. Maanpinnalla kivet altistuvat pinta- ja pohjavedelle ja ilman hiilidioksidille. Happi, joka on sitoutuneena ilmaan tai veteen, muodostaa kemiallisen reaktion tuloksena yhdessä raudan kanssa rapautumistuotteena Fe-oksidea. Oksidit ovat vallitsevissa oloissa muita yhdisteitä stabiilimpia. Alkuperäisistä magma- ja metamorfisista mineraaleista rapautumisprosesseissa parhaiten säilyy kvartsi (SiO₂).

Kemialliset rapautumisreaktiot voidaan jakaa ionisiin liukenemisreaktioihin ja hydrolyyttisiin liukenemis- ja rapautumisreaktioihin (Lahermo et al. 1996). Reaktiot voivat olla kongruenteja eli reaktioita, joissa ei muodostu toista mineraalia tai inkongruenteja, jolloin reaktiossa muodostuu uusia mineraaleja. Mekaaninen rapautuminen tehostaa kemiallista rapautumista, koska se tuottaa mineraaleille lisää reaktiopinta-alaa.

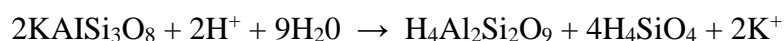
Mineraalit voivat muuttua rapautumisprosessien aikana hapetus-pelkistysreaktioiden kautta. Lopputulokseen vaikuttavat hapetus-pelkistyspotentiaali (Eh) ja pH (Lahermo et al. 1996). Tämän vuoksi esimerkiksi kalimaasälpä voi happamammassa ympäristössä liueta kongruentisti ja emäksisemmässä ympäristössä inkongruentisti, jolloin siitä syntyy savimineraaleja kuten kaoliniittia tai montmorilloniittia. Vastaavasti reaktio hematiitin (Fe_2O_3) ja magnetiitin (Fe_3O_4) välillä on:



Kokeellisissa tutkimuksissa Tsavon alueen lateriittien goethiitti ($\text{FeO}(\text{OH})$) on saatu muuttumaan hematiitiksi ja hematiitti magnetiitiksi kuumennuksen ja CO-CO_2 -kaasun avulla (Kugeria et al. 2014).

Hydrolyysi on kemiallinen reaktio, joka tapahtuu veden vaikutuksesta. Hydrolyysin kautta muodostuneet yhdisteet ovat kestäviä (Strahler ja Strahler 1997). Vesi muuttaa mineraalin kemiallista koostumusta ja kokoa ja tekee sen alttiimmaksi rapautumiselle (Helgeson et al. 1969). Esimerkiksi kalimaasälpä (KAISi_3O_8) voi rapautua hydrolyysin vaikutuksesta kaoliniitiksi ($\text{AlSi}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) ja SiO_2 :ksi. Reaktio on trooppisilla alueilla yleinen. Lämpimässä ja kosteassa ympäristössä kalimaasälpä voi muuttua ensin illiitiksi $(\text{K,H}_3\text{O})(\text{Al,Mg,Fe})_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2,(\text{H}_2\text{O})]$ ja illiitti kaoliniitiksi, mutta reaktio ei vaadi välivaihetta vaan voi tapahtua myös suoraan.

Reaktiossa kalimaasälpään lisätään vettä, mikä tuottaa kaoliinia ja piihappoa. Reaktiossa vapautuu kaliumia.



Veteen liuenneesta hiilidioksidista tulee laimeaa hiilihappoa. Kemiallisessa rapautumisessa hiilihappo pystyy liuottamaan herkemmin liukenevia mineraaleja kuten kalsiumkarbonaattia. Kasvillisuuden kanssa yhdessä esiintyvät orgaaniset hapot ovat monimutkaisempia ja hiilihapon kanssa yhdessä ne voivat reagoida mineraalien kanssa. Kemiallisen rapautumisen seurauksena syntyy konkreetioita, joissa rapautunut aines saostuu uudelleen maan pinnalla tai lähellä pintaa (Nash ja Shaw 1998). Sementtinä eli iskoksena kivilajifragmenteille on silikaatti tai CaCO_3 tai niiden sekoitus riippuen lähtökivistä. Myös rauta voi muodostaa konkreetioita. Uudelleenkiteytyneet konkreetiot ovat tavallisia metamorfisissa kivissä, jotka ovat sedimenttisyntyisiä.

Kallioperän rapautuminen on jatkuva prosessi, joka ei rajoitu vain maan pintakerrokseen vaan jatkuu myös syvemmissä kerroksissa, vaikka nämä olisivat rapautuneet jo pitkään (Taylor 2006). Syvemmissä kerroksissa rapautuminen ei ole enää niin riippuvainen maan päällä olevista olosuhteista, vaan rapautumiseen vaikuttavat enemmän alueen geoterminen gradientti, vesi ja mikro-organismit.

2.3 Taitavuorten ympäristön maaperägeologiaa

Taitavuorten ympäristön ja myös Taita Hills Wildlife Sanctuarin maaperätyyppinä vallitsee lateriittinen maaperä eli latosoli. Latosolit ovat punaisia tai keltaisia voimakkaasti rapautuneita maaperän osia. Ne ovat hienorakeisia, maaperän päällimmäisiä kerroksia, jossa on mukana paljon kaoliinipitoista savea. Latosolien kyky sitoa kosteutta on hyvä. Punaiset latosolit ovat pääsääntöisesti muodostuneet kvartsista, hematiitista ja kaoliinittista, mutta niissä on usein mukana myös goethiittiä ja gibsiittiä ($\text{Al}(\text{OH})_3$). Tutkimusalueen latosolit ovat muodostuneet pääsääntöisesti rapautuneista kiillegneisseistä ja alueen metamorfoituneista sedimenttikivistä (Gachene ja Kimaru 2003).

Lateriitti-termiä käytetään, kun maaperän rauta- ja alumiiniesiintymällä on taloudellista merkitystä eli silloin, kun sitä voidaan pitää malmina tai käyttää rakennusmateriaalina (Koilege 2011). Lateriitti on pitkän kemiallisen liuotusprosessin tulos. Sen

muodostumiselle on olennaista kuivankauden ja sadekauden vaihtelu. Sadekauden aikana kivistä lienneet ja suodattuneet ionit palautuvat maan pinnalle kuivan kauden aikana kapillaari-ilmiön ja kasvillisuuden avulla. Kuivalle maan pinnalle muodostuu suojoja, jotka sadekauden aikana huuhtoutuvat uudelleen. Vähitellen sadekausien aikana savimineraaleista liukenevat muut alkuaineet pois ja jäljelle jää lopulta vain alumiinihydroksidia. Rauta hapettuu Fe-oksidiksi. Lateriitti on tästä rapautumis- ja liukenemisprosessista jäljelle jääneiden rauta- ja alumiiniyhdisteiden sekoitus. Pitkään jatkuessaan prosessi voi saada aikaan rauta- ja alumiiniesiintymiä, jotka voivat olla hienorakeisia kerroksia, pyöreitä pellettejä, kiinteää ja massiivista materiaalia tai yhteenkasvaneet konglomeraatin tyyppiseksi muodostumaksi. Kenian lateriittisten maaperänäytteiden rautaa sisältävät mineraalit ovat hematiitti, goethiitti ja magnetiitti (Kugeria et al. 2014). Lateriittien rautapitoisuus oli 28–31 paino-%. Kenian lateriittien rautapitoisuudet muilla alueilla vaihtelevat välillä 10–28 paino-% ovat tavallisimmin 20 paino-% luokkaa.

Voin ja Kasigaun tasankoalueella tehtyjen 10 maaperäkairauksen perusteella rapautuneen maaperän paksuus kiinteän kallioperän päällä vaihtelee paljon (Toya et al. 1973). Kiinteä kallioperä löytyy kahdessa reiässä alle 8 metristä, mutta yhdessä reiässä maaperän syvyys on yli 40 metriä. Useimmiten kiinteä kallioperä löytyy 10–25 metrin syvyydestä. Kiinteän kallioperän päällä olevan osittain rapautuneen kallioperän paksuus vaihtelee 5–25 metrin välillä, mutta jostain kohdista se puuttuu kokonaan ja kallioperän päällä on suoraan konglomeraattia tai savipitoista maaperää. Päälimmäisenä kerroksena on yleensä hiekka- tai savipitoista maaperää, jonka alla on muutaman metrin kerros soraa. Kallioperäpaljastumat tasankoalueella ovat harvinaisia.

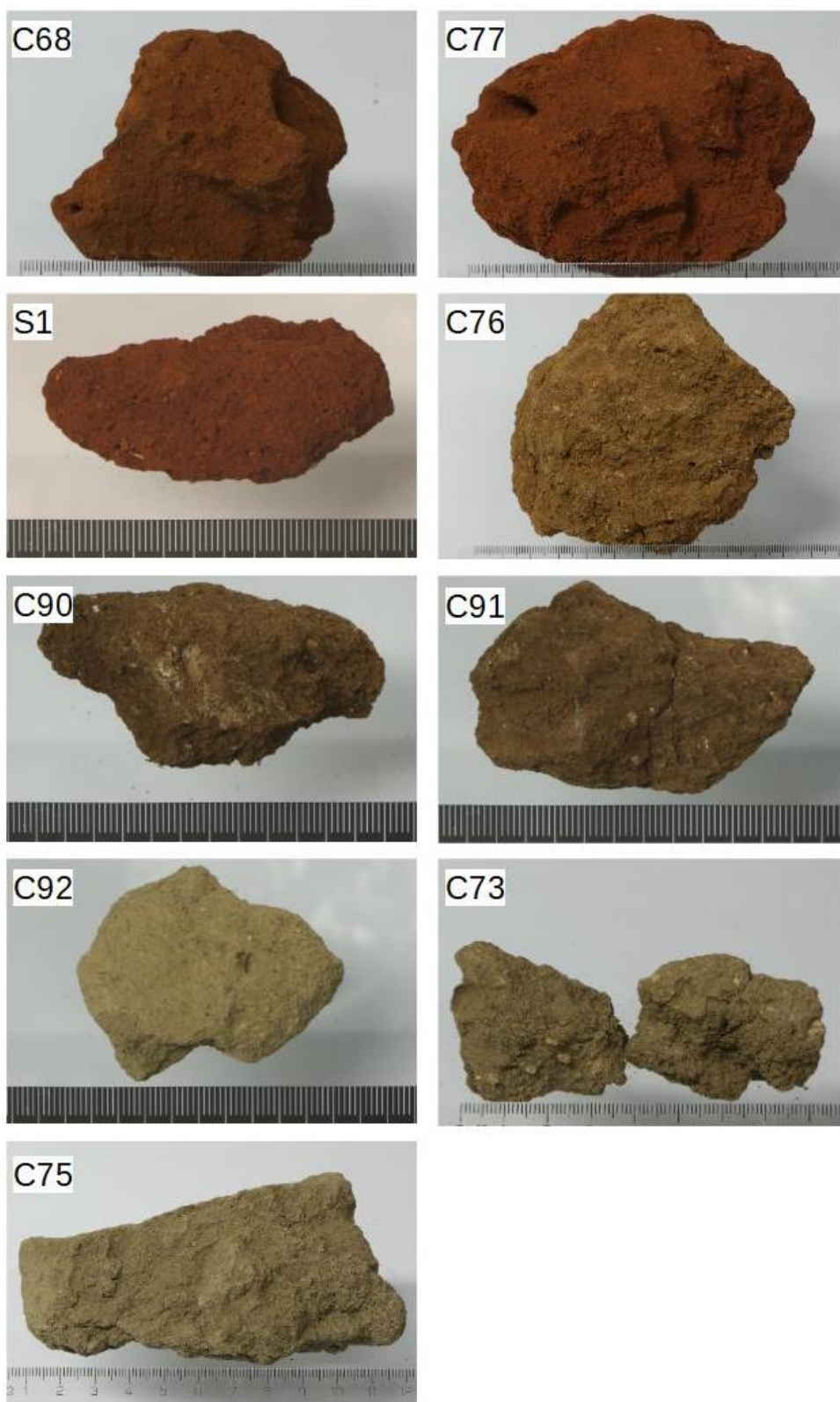
3. AINEISTO

Aineistona on yhdeksän termiittikekonäytettä (Kuva 5) ja yhdeksän maaperänäytettä (Kuva 6), jotka on otettu viiden metrin etäisyydeltä saman keon keskipisteestä. Kolme termiittikekonäytettä edustavat punaista väriä, kolme ruskeaa ja kolme näytteistä on harmaita. Samat värit ovat myös maaperänäytteissä. Termiittikekonäytteet on otettu Petri Pellikan toimesta huhtikuussa 2016 ja toimitettu muovipusseissa Helsingin yliopistolle tutkimuksia varten sijaintitietojen kanssa. Kuvan 4 karttaan on merkitty kekojen sijainnit aineistossa käytettyjen tunnusten mukaisesti. Pisteiden väri kertoo mihin väriyhmään keko kuuluu: punaisiin, ruskeisiin vai harmaisiin kekonäytteisiin.

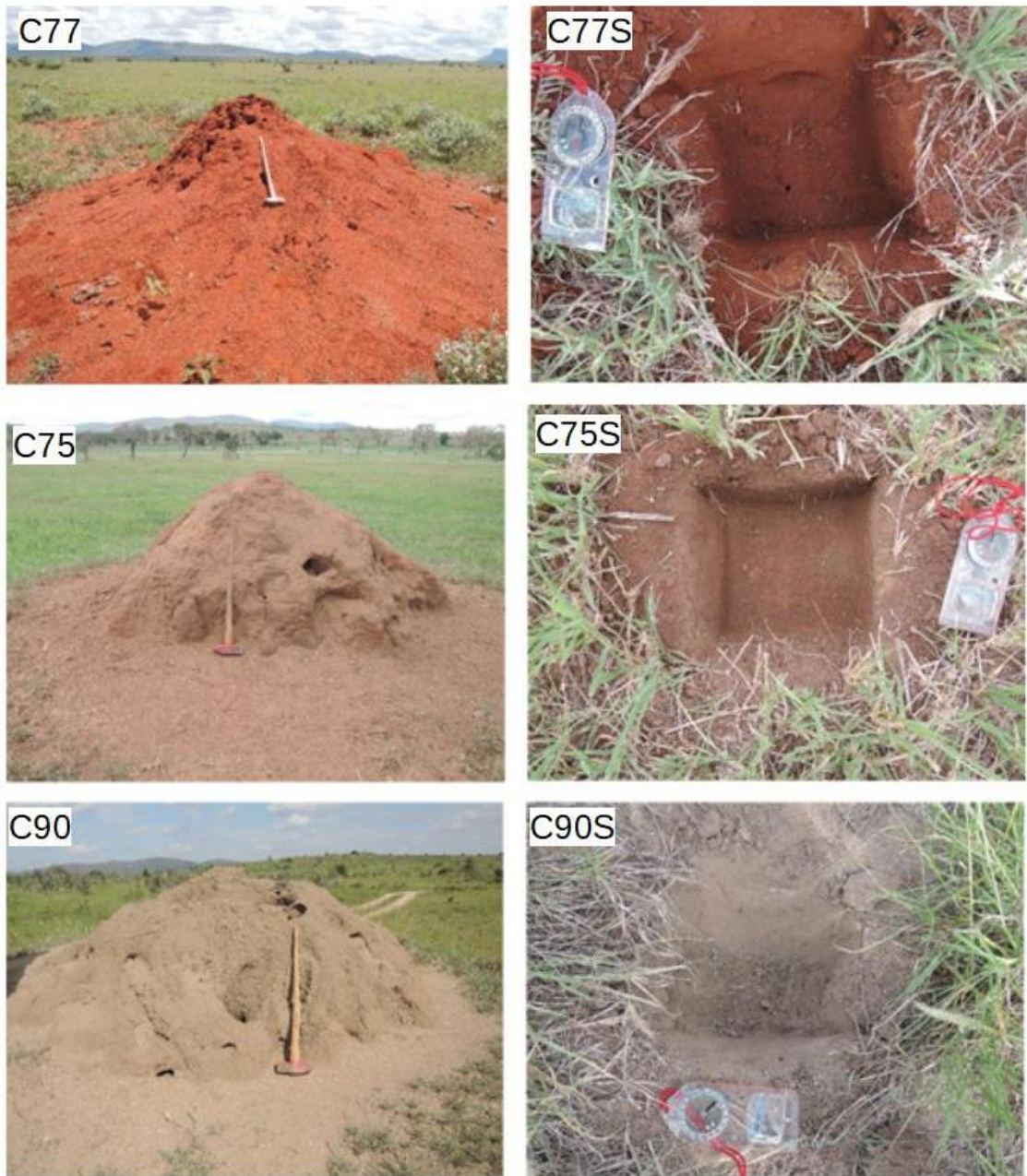
Maaperänäytteet kerättiin huhtikuun 2017 lopussa tässä työssä suoritettujen kenttäpäivien yhteydessä. Yliopistolle tuotujen termiittikekonäytteiden mukana tulivat koordinaatit (Liite 1), mistä näytteet on otettu. Kenttäpäivinä samat pesät etsittiin, kuvattiin ja maaperänäytteenoton yhteydessä otettiin uudet koordinaatit, joilla varmistettiin, että maaperänäytteet otettiin oikeiden pesien ympäriltä.

Maaperänäytteiden etäisyys pesän keskikohdasta on viisi metriä. Suunta näytteenotolle valittiin niin, että valitusta kohdasta sai parhaiten kaivettua maan esiin. Pintamaa kasvillisuuksineen poistettiin lapiolla ja lopuksi kuopan pohja siistittiin muovilusikalla. Näytteet otettiin noin 20 cm syvyydestä muovilusikan avulla minigrip-pussiin.

Tarkoituksena oli ottaa myös kallioperästä kivinäytteitä, mutta pesien läheisyydessä paljastumia oli vähän ja ne, jotka löydettiin, olivat liian paljon muuttuneita, jotta olisivat edustaneet luotettavasti alla olevaa kallioperää. Vertailu kallioperän kivilajeihin tapahtuu kirjallisuusviitteiden, Noora Martikaisen Pro gradu -tutkielman ja professori Juha karhun toimittaman karbonaattikivinäytteen avulla, josta FM Pasi Heikkilä on tehnyt XRD-analyysin.



Kuva 5. Tutkimusaineistona on yhdeksän termiittikekonäytettä Taita Hills Wildlife Sanctuaryyn alueelta kolmeen väriryhmään jaoteltuna. Jokaista väriryhmää (punainen, ruskea ja harmaa) edustaa kolme näytettä. Punaisia näytteitä ovat C68, C77 ja S1, ruskeita C76, S90 ja S91 ja harmaita C92, C73 ja C75.



Kuva 6. Taita Hills Wildlife Sanctuaryyn termiittikeot voidaan jakaa kolmeen väriyhmään: punaiset, ruskeat ja harmaat. Kuvassa näkyy esimerkit jokaisesta väristä. Tutkimusaineiston maaperänäytteet otettiin jokaisesta keosta 5 m etäisyydeltä ja 20 cm syvyydestä. Maaperänäytteet on merkitty kekotunnuksella ja S-kirjaimella. Esimerkiksi punaisen keon tunnus on C77 ja saman pesän maaperänäyte C77S. Kuvia on muokattu vähentämällä kirkkautta.

4. TUTKIMUSMENETELMÄT

Tutkimusmenetelminä käytettiin XRD-analyysiä tutkittavan näytteen mineraalien määrittämiseen ja XRF-analyysiä kemiallisen koostumuksen määrittämiseen. Mineraalirakeiden ulkonäköä, kokoa ja raekokojakaumaa ja hienoaineksen osuutta arvioitiin valomikroskoopilla.

Valokuvat käsinäytteistä otettiin Canon EOS 7D –kameralla jalustalla. Linssinä oli EF-S 18–135. Valaistuksena oli loisteputkivalaistus ja valkoinen kalibroitiin. Herkkyydeksi valittiin ISO 100 ja aukon koko oli f13. Kuvan ottamiseen käytettiin itselaukaisua 10 sekunnin viiveellä. Valkoinen väri tasattiin A4-kopiopaperin mukaan white balance-toiminnolla, jotta kuvien värit säilyisivät mahdollisimman oikeina.

Kuvat mineraalirakeista otettiin Olympus SZX10-valomikroskoopilla. Syväterävyyden säätö oli 2.5–3 ja suurennos 0.63.

XRD- ja XRF-menetelmää varten näytteet jauhettiin Fritsch pulverisette 6 –laitteella, jossa on volframikarbidipannu. Näytteistä otettiin n. 30 gramman suuruinen määrä, jota jauhettiin yhteensä 15 minuuttia nopeuden ollessa 350 kierrosta minuutissa. 10 minuutin kohdalla laite pysäytettiin, pannua ravisteltiin ja sen jälkeen jatkettiin jauhatusta vielä 5 minuuttia. Jokaisen näytteen jälkeen, ennen seuraavan näytteen jauhatusta, suoritettiin kvartsipesu. Maaperänäytteiden C75S ja C76S jauhatuksen yhteydessä piti yhden kerran laskea kierrokset alas sataan ja sen jälkeen takaisin 350:een, että kuulat lähtivät uudelleen pyörimään normaalisti.

4.1 Näytteiden käsittely

Termiittikekonäytteiden raekoko on pieni ja aines murenevaa, joten näytteiden alkukäsittelyssä ei tarvittu lainkaan kivenhalkaisuvästarua tai leukamurskainta. Termiittikekonäytettä laitettiin suoraan volframikarbidipannuun jauhatusta varten. Maaperänäytteiden toimittiin samoin kuin kekonäytteiden kanssa. Näkyvät orgaaniset

osat poistettiin. Näytettä laitettiin suoraan wolframikarbidipannuun ja jauhettiin samoilla asetuksilla kuin kekonäytteet.

Kuulamylllynä on Fritsch Pulverisette 6, jossa on wolframikarbidipannu. Pannuihin mitattiin näytettä noin 30 grammaa. Pannuun lisättiin muutama tippa denaturoitua etanolia ehkäisemään näytteen tarttumista kiinni pannuihin. Näytteitä jauhettiin yhteensä 15 minuuttia. 10 minuutin jälkeen tarkistettiin, ettei kannen reunoihin ole jäänyt näytettä kiinni, jonka jälkeen jauhettiin vielä viisi minuuttia. Kierrosnopeus oli 350 kierrosta minuutissa.

Fluksinappien tekoa varten punnittiin jauhetta keraamiseen upokkaaseen. Vaakana oli kekonäytteissä Mettler Toledo AB204-S, jossa on max. 220 g, min. 10 mg ja $d=0,1$ mg. Kekonäytteiden käsittelyn jälkeen vaakaa oli vaihdettu ja siksi maaperänäytteiden punnituksessa oli eri vaakaa. Maaperänäytteissä vaakana oli Ohaus PA224C, jossa on max. 220 g ja $d=0,0001$ g.

Näytteet ja fluksi sekoitettiin muovilusikalla varovasti tasaiseksi jauheeksi keraamisissa upokkaissa ja kaadettiin niistä platina-kultaupokkaisiin. Platina-kultaupokkaisiin lisättiin sulatteen (flux) ultrapuhdasta litium tetraboraattia ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 49, 75 %).

Näytteet sulatettiin Claisse M4 -polttimella BIS-mallisissa platina-kultaupokkaissa homogeeniseksi litiumboraattilasiksi, jossa on sulatteen ja näytteen seosta on tasaisesti. Ohjelmana oli kvartsiohjelma. Syntyneet lasinapit merkittiin tussilla ja siirrettiin muovisiin näytepusseihin. Muiden näytteiden kohdalla sulatus meni normaalisti, mutta maaperänäytteiden C73S ja C75S kohdalla sulatus piti uusia kuplien vuoksi. Uusintasulatuksen yhteydessä sulatusaikaa lisättiin 3 minuuttia. Näytteestä C75S tuli hyvä, mutta Näyte C73S sisälsi edelleen kuplia. Tämän näytteen materiaali punnittiin uudelleen ja sulatettiin suoraan pidemmällä ajalla, jonka jälkeen lopputulos oli hyvä.

4.2 XRF

XRF-analyysit suoritettiin Helsingin yliopiston röntgenlaboratoriossa. Laitteena oli PANanalyticalin Axios mAX 4 kW, joka on laboratoriokäyttöön tarkoitettu WD-XRF-

spektrometri. Laitteessa on kolme kollimaattoria, joilla saadaan parempi kulmatarkkuus. Laitteella voidaan mitata sekä bead- että omnian-analyysejä. Näytteet mitattiin fluksinapeista bead-analyysinä. Laitteen bead-analyysi on kalibroitu 16.2.2018. Bead-kalibrointi on tehty standardoiduille ainemäärille ja granodioriittiselle koostumukselle.

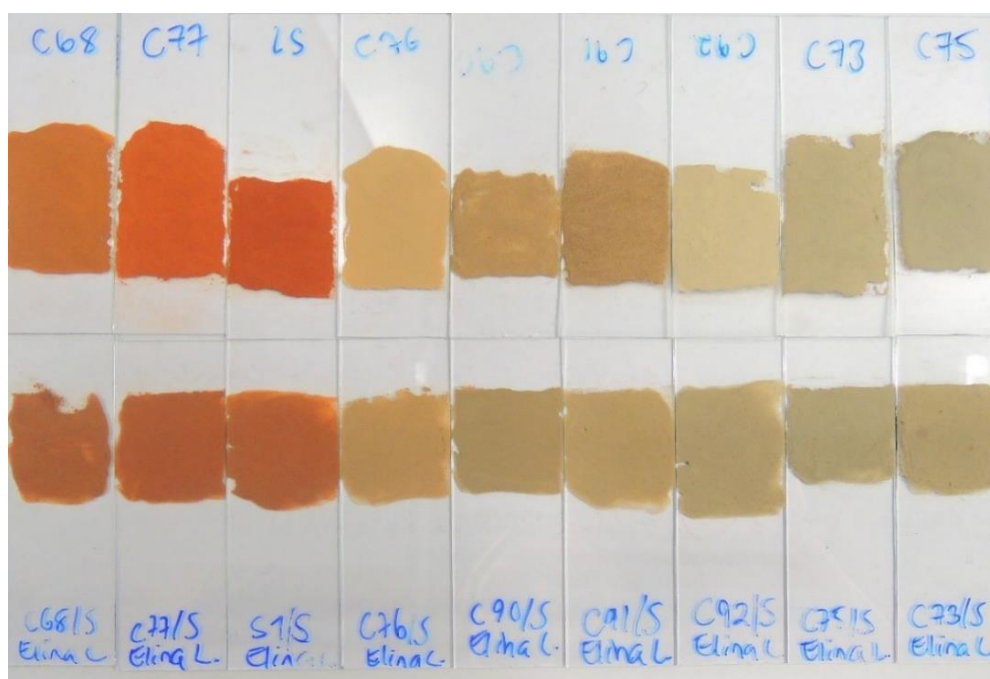
4.3 XRD

Näytteet tutkittiin Helsingin yliopiston röntgenlaboratoriossa. Laboratorion XDR-laite on PANanalytical X'Pert3 Powder, joka on röntgenpulveridiffraktometri. XRD:n röntgenputki on Empyrean-tyyppiä, jossa on Long Fine Focus (LFF), kupari (Cu) α -anodi ja paikallaan pysyvä näytteenpidin. Diffraktometrissä on primääripuolella rad 0.04 soller slitit, kiinteä divergence slit 1° , maski 15 mm, incident anti-scatter slit 2° , mutta ei β -filteriä. Sekundääripuolella on anti-scatter slit $\frac{1}{2}^\circ$, vastaanottava slit $\frac{1}{8}^\circ$, soller slit rad 0.04 ja kaareva grafiittimonokromaattorikide. Laitteen detektori on suljettu xenonkaasudetektori. Analyysin mittausteho oli $40 \text{ kV} * 40 \text{ mA} = 1600 \text{ W}$. XRD-mittaus tehtiin ohjelmalla, joka mittaa kulmavälillä 3–75 astetta. Ohjelman askel on 0,02, aika/askel 5 sekuntia ja mittausaika 5 tuntia.

5. TULOKSET

Näytteitä on yhteensä 18 kappaletta, joista 9 kekonäytettä ja 9 maaperänäytettä samojen kekojen läheisyydestä. Näytteet on järjestetty tuloksissa värien mukaan järjestykseen niin, että ensin on punaisimmat näytteet vaaleimmasta tummimpaan. Tämän jälkeen tulevat ruskeat ja lopuksi harmaat näytteet samalla tavoin värin intensiteetin mukaisesti järjestettynä. Kekonäytteet ja maaperänäytteet käsitellään samassa järjestyksessä niin, että ensin tulevat kekonäytteet ja sen jälkeen maaperänäytteet. Näytejärjestys on seuraava: C68, C77, S1, C76, C90, C91, C92, C73 ja C75 (Kuva 7). Maaperänäytteiden perässä on näytetunnuksen lisäksi S (soil) kuten esimerkiksi C68S. Lopuksi vedetään yhteen jokaisen keon ja sitä ympäröivän maaperän yhteiset ominaisuudet ja eroavuudet.

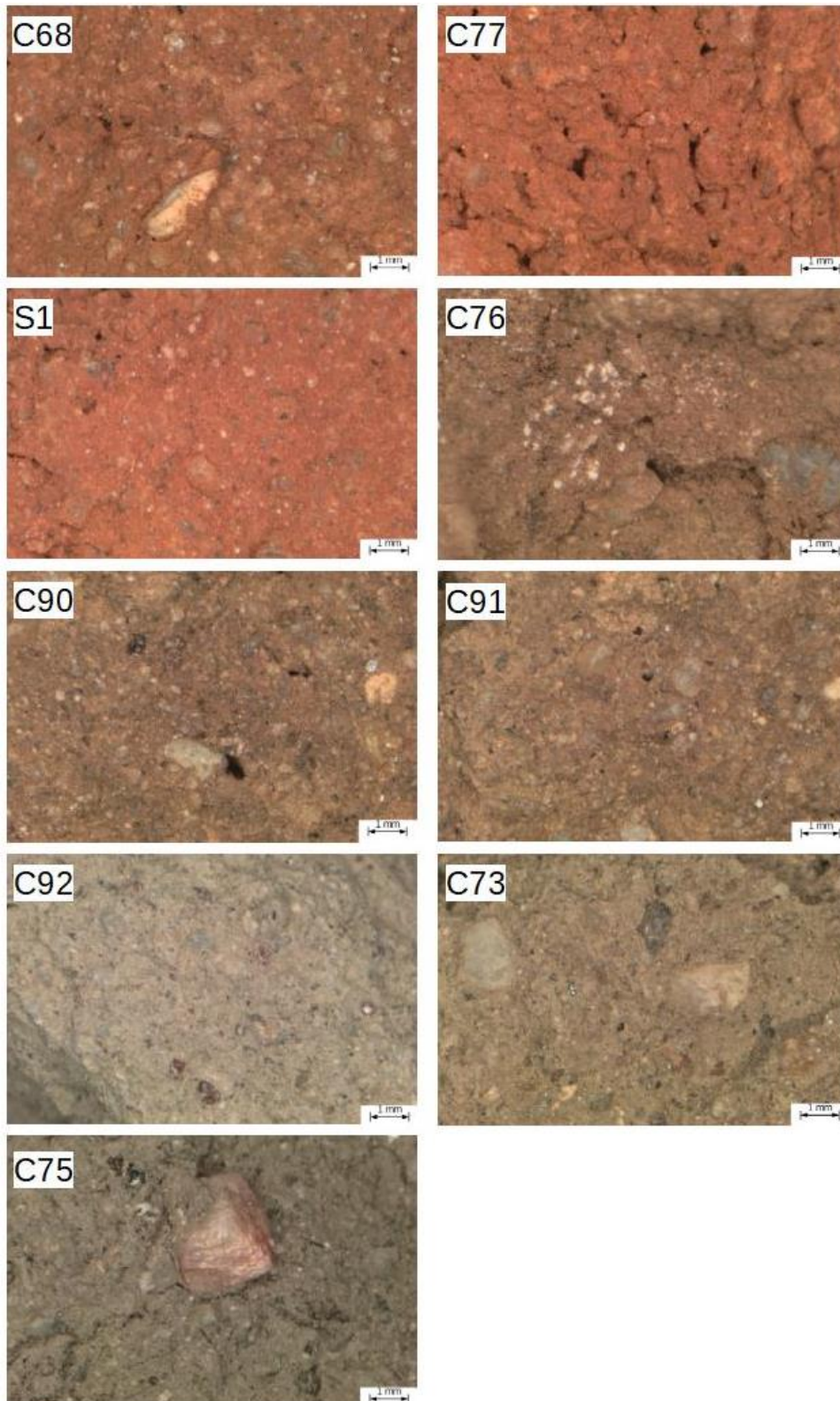
Tarkasteltaessa jauhepreparaatteja värin ja intensiteetin mukaan järjestettynä voi havaita, että kekonäytteet vastaavat jauhettuna niille kuvailtuja värejä (Kuva 7). Kekojen värierot ovat selvemmät ja värien intensiteettierot ovat selvemmin havaittavissa kuin maaperänäytteissä. Kekonäytteistä niiden intensiteetiltään voimakkaimman väriset näytteet S1, C91 ja C75 edustavat hyvin niille kuvattua väriä punainen, ruskea ja harmaa. Maaperänäytteissä punaiset näytteet erottuvat muista näytteistä värinsä puolesta, mutta harmaiden ja ruskeiden näytteiden väri- ja intensiteettierot eivät ole niin selvästi havaittavissa kuin kekonäytteissä. Ruskeiden ja harmaiden maaperänäytteiden värierot ovat jopa vähäisiä. Samasta keosta otettujen näytteiden värisävyt ja intensiteetit ovat kaikissa näytteissä samankaltaiset (Kuva 7).



Kuva 7. Taita Hills Wildlife Sanctuaryn keko- ja maaperänäytteiden käsittelyjärjestys on tuloksissa XRD-preparaattien mukaan järjestetty seuraavasti: punaiset, ruskeat ja harmaat näytteet värigradientin mukaan järjestettynä vaaleammasta voimakkaampaan väriin siirtyen. Keon ja siitä otetun maaperänäytteen värin sävyn ja intensiteetin vastaavuudet ovat lähellä toisiaan.

5.1 Valomikroskopia

Kaikki kekonäytteet tutkittiin valomikroskoopilla. Tutkituista näytteistä pystyi valomikroskoopin avulla tunnistamaan, että ne sisältävät kaikki kvartseja ja maasälpää (Kuva 8). Mineraalien kohdalla on kuvailtu niiden ulkoasua, jotta tuloksia voidaan verrata muihin tuloksiin. Myös hienoaineksen määrästä sai tarkempaa tietoa valomikroskoopin avulla.



Kuva 8. Valomikroskooppikuvat Taita Hills Wildlife Sanctuaryyn termiittikekonäytteistä järjestettynä värin ja intensiteetin mukaiseen järjestykseen. Kaikista näytteistä löytyi kvartsia ja maasälpää. Hienoaineksen määrä on harmaissa näytteissä suurempi kuin ruskeissa tai punaisissa näytteissä. Punaisia näytteitä ovat C68, C77 ja S1, ruskeita C76, S90 ja S91 ja harmaita C92, C73 ja C75.

Valomikroskoopilla näytteen C68 mineraaleista voi tunnistaa kvartsin ja mahdollisesti maasälvän. Kvartsin väri vaihtelee kirkkaasta vaaleanharmaaseen ja maidonvaaleaan. Kiilto on lasimainen ja joissain rakeissa erittäin kirkas, etsatun pinnan näköinen, kiilto. Rakeissa näkyy sekä simpukkamurrosta että rakeita, joiden pinnat ovat tarkkarajaisia ja särmikkäitä. Kvartsirakeet ovat yleisesti kooltaan 1–2 mm luokkaa. Maasälvän väri on vaalea, jossa vähän punertavuutta ja siinä on maitomainen mattakiilto. Rakeiden kokoluokka on sama kuin kvartsilla, mutta niitä on vähemmän kuin kvartsia. Maasälvän pintaan jää helpommin punertavaa hienoaainesta. Tummina mineraaleina on mahdollisesti amfibolia tai pyrokseenia. Lisäksi oli muutama vaaleankellertävä mattapintainen rae, jonka alkuperä on todennäköisesti biologinen esimerkiksi pieni palanen luuta (Kuva 8).

Näyte C77 on kauttaaltaan punaisen ryynimäisen hienoaineksen peittämä, eikä mineraalinen tunnistaminen onnistunut niin hyvin kuin näytteessä C68. Tunnistettavat mineraalit näyttävät kvartsilta ja maasälvältä. Kvartsi on tasarakeisempaa ja pyöristyneempää kuin näytteessä C68 ja sitä on paljon. Koko näytteen pinta on täynnä vierekkäin olevia kvartsirakeita. Kvartsin raekoko on samaa luokkaa kuin näytteessä C68 eli 1–2 mm. Maasälpää löytyi vain muutama rae. Myöskään tummia mineraaleja ei tästä näytteestä havaittu kuin vähän.

Näytteessä S1 kvartsia on paljon. Kvartsi vaihtelee väriltään kirkkaasta tummanharmaaseen. Siinä on näkyvissä simpukkamurrosta ja lasikiiltoa. Raekoko kvartsissa on 1 mm luokkaa. Näytteessä on muutamia rakeita, jotka näyttävät vaaleilta kiilteiltä. Niissä on levymäinen pinta ja voimakas kiilto. Tummia mineraaleja on vain vähän. Rakeet ovat suurelta osin punaruskean hienoaineksen peittämiä ja biologista ainesta on mukana myös.

Näyte C76 edustaa ruskeaa väriä. Siinä hienoaineksen määrä on harmaiden ja punaisten välistä eli kohtalainen. Hienoaineksena on ruskeaa pienirakeista ainetta ja valkoista ryynimäistä ainetta (Kuva 8). Mineraaleina näytteessä on kvartsia, joka on väriltään kirkasta, harmahtavaa tai valkoista. Kvartsissa on nähtävissä simpukkamurrosta. Raekoko on 1–2 mm. Kalimaasälpää on vähän tai ei ollenkaan. Rakeet niin pieniä, että ei voi varmuudella sanoa. Tästä näytteestä löytyy ainoana vaalea kiille, joka on voisi olla muskoviittia. Tummina mineraaleina punaisten näytteiden kanssa samankaltaisia mineraaleja, jotka voivat olla amfibolia tai pyrokseenia.

Näyte C90 edustaa ruskeaa väriä. Mineraalikoostumus on hyvin samankaltainen kuin näytteellä C91. Kvartsin värit vaihtelevat paljon. Niitä on kirkkaita, maitovaaleita, vaaleanharmaita ja tässä näytteessä myös punertavia. Raekoko on tässä näytteessä pienempi eikä yli 2 mm rakeita ole havaittavissa. Tummat mineraalit ovat myös hyvin pieniä ja niitä on vähän. Hienoaines on ruskeaa ja valkoista kuten näytteessä C91. Tässä näytteessä on myös mukana eloperäistä materiaalia.

Näyte C91 on väriltään ruskea ja sisältää runsaasti kvartsia. Kvartsirakeiden värit vaihtelevat kirkkaista maitovaaleisiin ja vaaleanharmaisiin. Kvartsirakeiden raekoko on 1–2 mm, mutta muutama isompikin rae löytyy. Tunnusomaisena piirteenä simpukkamurros ja läpikuultavuus. Mahdollisia maasälpä rakeita on huomattavasti vähemmän. Ne ovat mattamaisia ja vaaleanpunertavia eikä niissä ole läpikuultavuutta. Maasälpä rakeiden raekoko on 1–2 mm. Tummemmat mineraalit ovat tummanpunaisia tai mustia ja muistuttavat granaatteja, mutta myös prismamaista tummaa mineraalia on muutama rae. Muutama vaalea kiilteenomainen rae näkyy myös. Tässä näytteessä hienoaines on ruskeaa ja sen joukossa on valkoista hienoainesta pieninä laikkuina.

Näyte C92 on väriltään vaaleankellertävä ennemmin kuin harmaa. Siinä on nähtävissä kvartsia ja mahdollisesti maasälpää. Kvartsirakeiden raekoko on 1–2 mm. Kvartsin värit vaihtelevat kirkkaista maitovaaleisiin ja harmaisiin. Mahdollisen maasälvän raekoko on noin 1 mm. Tummat mineraalit ovat pieniä ja punertavan sävyisiä ja osittain läpinäkyviä. Rakeiden halkaisija on maksimissaan 1 mm. Rakeiden muoto on pyöreähkö, mutta osassa rakeista on terävät särmät. Näitä rakeita on näytteessä runsaasti. Hienoaineksen väri on vaaleankellertävää/vaaleanruskeaa ja sen määrä suurempi kuin punaisissa tai ruskeissa näytteissä.

Harmaa näyte C73 sisältää eniten hienoainesta, jonka joukossa mm. ohuita juuria. Mutta näyte sisältää myös mineraalirakeita. Siitä löytyy kvartsia, joka on samankaltaista kuin näytteessä C75. Raekoko on n. 1mm. Maasälpä on mattavaaleaa, vähän punertavaa, ja sitä on vähän. Maasälvän raekoko on alle 1 mm. Näytteessä on tunnistamatonta tummaa mineraalia, mutta sen osuus näytteessä on vähäinen. Myös tässä näytteessä on kirkasta ja voimakaskiiltoista mineraalia. Rakeiden päällä on usein harmaata hienoainesta.

Harmaanvärisen näytteen C75 mineralogia on vaihtelevampi kuin punaisten näytteiden. Siinä hienoaineksen määrä on suurempi ja mineraalirakeet ovat harvemmassa. Näytteessä on kvartsia, jonka väri vaihtelee kirkkaiden rakeiden kohdalla kirkkaasta siniharmaaseen ja punertavaan. Lähes valkoiset rakeet ovat vähemmän läpikuultavia. Joissain kvartsirakeissa on sulkeumana hematiittipigmenttiä. Kvartsin lisäksi näytteessä on muutama yksittäinen maasälpärae, joiden halkaisija oli 2–3 mm luokkaa (Kuva 8). Näytteestä löytyy kaksi tunnistamatonta mineraalia. Toinen on kirkas ja sillä on korkea interferenssi ja kiilteenomainen voimakkaan punainen mineraalirae. Tummanpunaisia läpikuultavia pieniä rakeita oli paljon, joista saa vaikutelman granaatista. Tummia mineraaleja näytteessä on vähän ja ne ovat raekooltaan pieniä (alle 0.5 mm).

5.2 XRF

5.2.1 XRF-tulokset kekonäytteistä

SiO₂-pitoisuus vaihtelee punaisissa kekonäytteissä välillä 72,52–77,39 paino-% (Liite 2). Ruskeissa kekonäytteissä SiO₂-pitoisuus vaihtelee välillä 68,85–71,13 paino-% ja harmaissa välillä 61,36–62,89 paino-%. Minkään yksittäisen värin sisällä SiO₂ paino-% arvo ei muutu samassa suhteessa värin intensiteetin muutoksen kanssa. Eriväristen kekonäytteiden SiO₂-pitoisuudessa on selvät erot niin, että SiO₂-pitoisuus on suurin punaisissa kekonäytteissä ja pienin harmaissa kekonäytteissä.

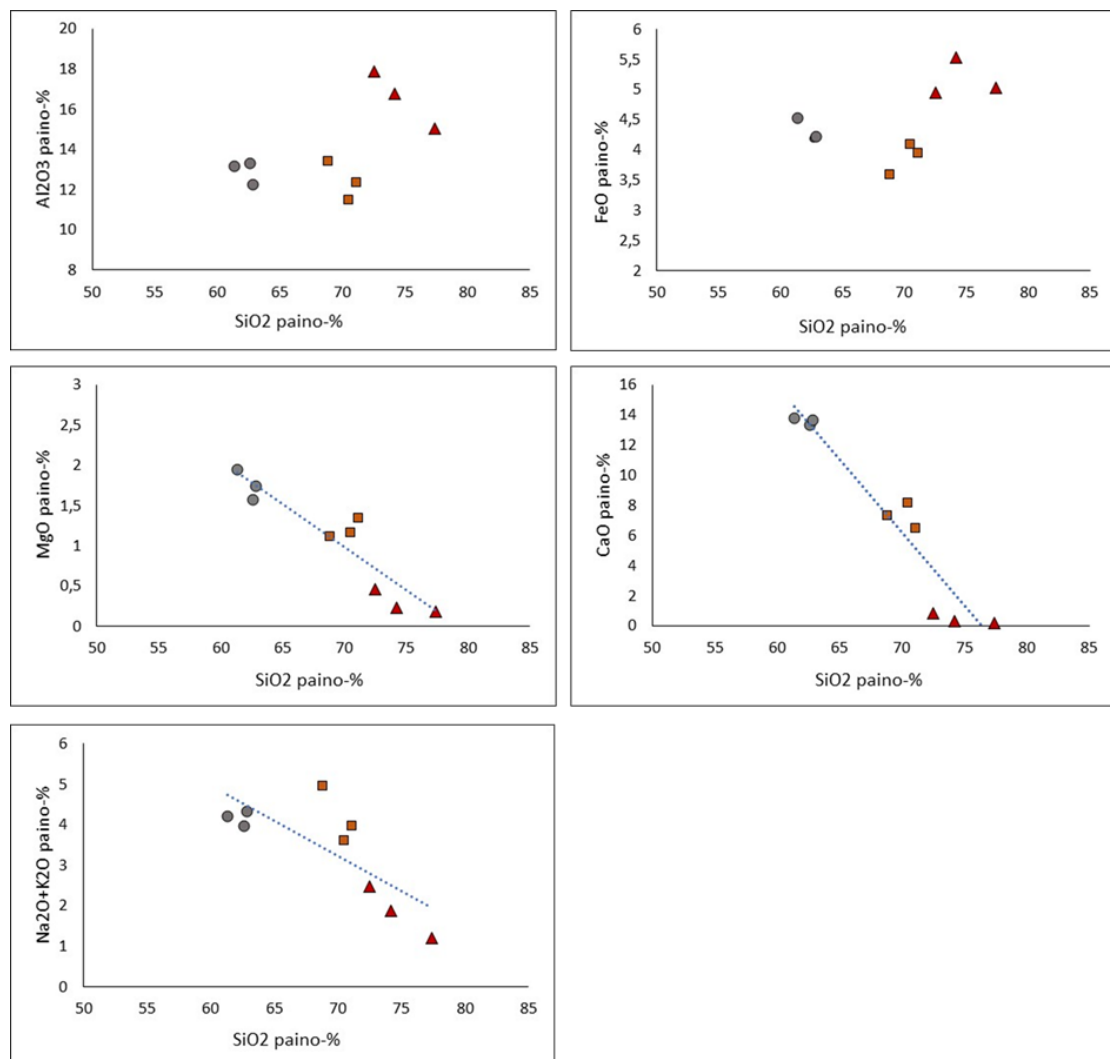
TiO₂-pitoisuus vaihtelee kaikissa kekonäytteissä väristä tai sen intensiteetistä riippumatta välillä 0,56–0,95 paino-%. Punaisten kekonäytteiden kohdalla on hieman suuremmat arvot kuin ruskeissa tai harmaissa kekonäytteissä.

Al₂O₃-pitoisuus vaihtelee punaisissa kekonäytteissä välillä 15,01–17,88 paino-%. Ruskeissa kekonäytteissä Al₂O₃-pitoisuus vaihtelee välillä 11,48–13,39 paino-% ja harmaissa kekonäytteissä välillä 12,25–13,31 paino-%.

FeO-pitoisuus vaihtelee punaisissa kekonäytteissä välillä 4,95–5,53 paino-%. Ruskeissa kekonäytteissä FeO-pitoisuus vaihtelee välillä 3,59–4,09 paino-% ja harmaissa

kekonäytteissä välillä 4,19–4,53 paino-%. FeO-pitoisuus on pienin ruskeissa ja harmaissa kekonäytteissä ja suurin punaisissa kekonäytteissä. FeO-pitoisuus myös kasvaa värin intensiteetin lisääntyessä. Kaikkien kekonäytteiden MnO-pitoisuus on alle 0,2 paino-%.

Al_2O_3 - ja FeO-pitoisuuden suhteesta SiO_2 -pitoisuuteen voidaan havaita, että punaisten kekonäytteiden Al_2O_3 - ja FeO-pitoisuudet ovat korkeammat kuin ruskeiden tai harmaiden kekonäytteiden. Se sijaan harmaiden ja ruskeiden näytteiden välillä ei pitoisuuksissa ole nähtävissä merkittävää eroa (Kuva 9).



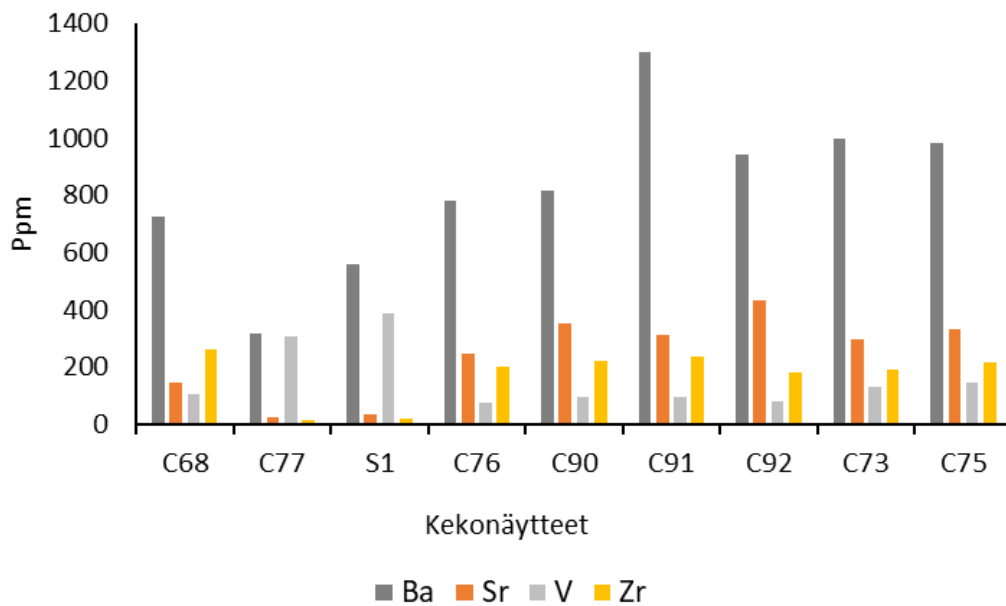
Kuva 9. XRF-tulokset Kenian Taita Hills Wildlife Sanctuarn alueen termiittikekonäytteistä. Harmaat kekonäytteet on merkitty ympyrällä, ruskeat neliöllä ja punaiset kolmiolla. Mitattujen oksidien pitoisuuksia on verrattu SiO_2 -pitoisuuteen. Al_2O_3 - ja FeO-pitoisuuden suhteen selvää trendiä ei ole havaittavissa, mutta pitoisuudet ovat suurimmat punaisissa kekonäytteissä. MgO- ja CaO-pitoisuudet kasvavat siirryttäessä punaisista kekonäytteistä ruskeiden kautta harmaisiin. Samalla SiO_2 -pitoisuus vähenee.

MgO-pitoisuus vaihtelee punaisissa kekonäytteissä välillä 0,18–0,46 paino-% (Liite 2). Ruskeissa kekonäytteissä MgO-pitoisuus vaihtelee välillä 1,11–1,34 paino-% ja harmaissa vaihteluväli on 1,57–1,94 paino-%. CaO-pitoisuus vaihtelee selvästi enemmän ollen punaisissa kekonäytteissä välillä 0,19–0,84 paino-%. Ruskeissa kekonäytteissä arvot vaihtelevat välillä 6,42–8,14 paino-% ja harmaissa välillä 13,30–13,76 paino-%. MgO- ja CaO-pitoisuudet kasvavat siirryttäessä punaisista kekonäytteistä ruskeiden kautta harmaisiin (Kuva 10). MgO- ja CaO-pitoisuuden kasvaessa SiO₂-pitoisuus vähenee.

(Na₂O+K₂O) -pitoisuudet punaisissa kekonäytteissä vaihtelevat välillä 1,87–2,48 paino%. Ruskeissa kekonäytteissä vaihteluväli on 3,60–4,96 paino-% ja harmaissa 3,96–4,33 paino-%. Harmaissa ja ruskeissa kekonäytteissä on suuremmat (Na₂O+K₂O) -pitoisuudet kuin punaisissa kekonäytteissä, mutta harmaiden ja ruskeiden näytteiden välillä selvää eroa pitoisuuksissa ei ole (Kuva 10). P₂O₅-pitoisuudet ovat kaikissa näytteissä alle 0,3 paino-%.

Hivenaineista bariumin (Ba) pitoisuudet ovat korkeimmat. Punaisten kekonäytteiden Ba-pitoisuudet vaihtelevat välillä 319–726 ppm, ruskeissa kekonäytteissä pitoisuudet ovat välillä 784–1304 ppm ja harmaissa välillä 945–1000 ppm (Kuva 10). Strontiumin (Sr) pitoisuudet ovat alhaisimmat punaisissa kekonäytteissä vaihdellen välillä 29–150 ppm. Ruskeissa kekonäytteissä pitoisuudet ovat välillä 248–357 ppm ja harmaissa näytteissä välillä 302–435 ppm. Vanadiinin (V) pitoisuudet vaihtelevat punaisissa näytteissä välillä 109–388 ppm. Ruskeissa kekonäytteissä vanadiinin pitoisuus on välillä 76–99 ppm ja harmaissa vaihteluväli on 84–150 ppm. Zirkoniumin (Zr) kohdalla kahden punaisen kekonäytteen pitoisuus on alle 25 ppm, mutta näytteen C68 pitoisuus on 263 ppm. Ruskeissa kekonäytteissä Zr-pitoisuus vaihtelee välillä 205–241 ppm ja harmaissa välillä 184–219 ppm.

Muiden hivenaineiden määrät termiittikekonäytteissä ovat vähäisiä (alle 100 ppm) väristä riippumatta (Liite 2).



Kuva 10. Taita Hills Wildlife Sanctuaryn kekonäytteiden XRF-analyysin hivenainepitoisuudet bariumin, strontiumin, vanadiinin ja zirkoniumin osalta (ppm). Hivenainepitoisuuden vaihtelu, suurimpia pitoisuuksia saaneiden alkuaineiden osalta, ei muutu värin tai intensiteetin mukaisesti. Muiden hivenaineiden pitoisuudet olivat alle 100 ppm.

5.2.2 XRF-tulokset maaperänäytteistä

SiO₂-pitoisuus vaihtelee punaisten kekojen maaperänäytteissä välillä 76,45–82,47 paino-% (Liite 3). Ruskeissa maaperänäytteissä SiO₂-pitoisuus vaihtelee välillä 71,12–78,75 paino-% ja harmaissa välillä 63,75–67,21 paino-%. Ruskeissa näytteissä SiO₂ -pitoisuuden arvo kasvaa värin intensiteetin lisääntyessä. Punaissa ja harmaissa maaperänäytteissä arvot ei muutu samassa suhteessa värin intensiteetin muutoksen kanssa (Kuva 11).

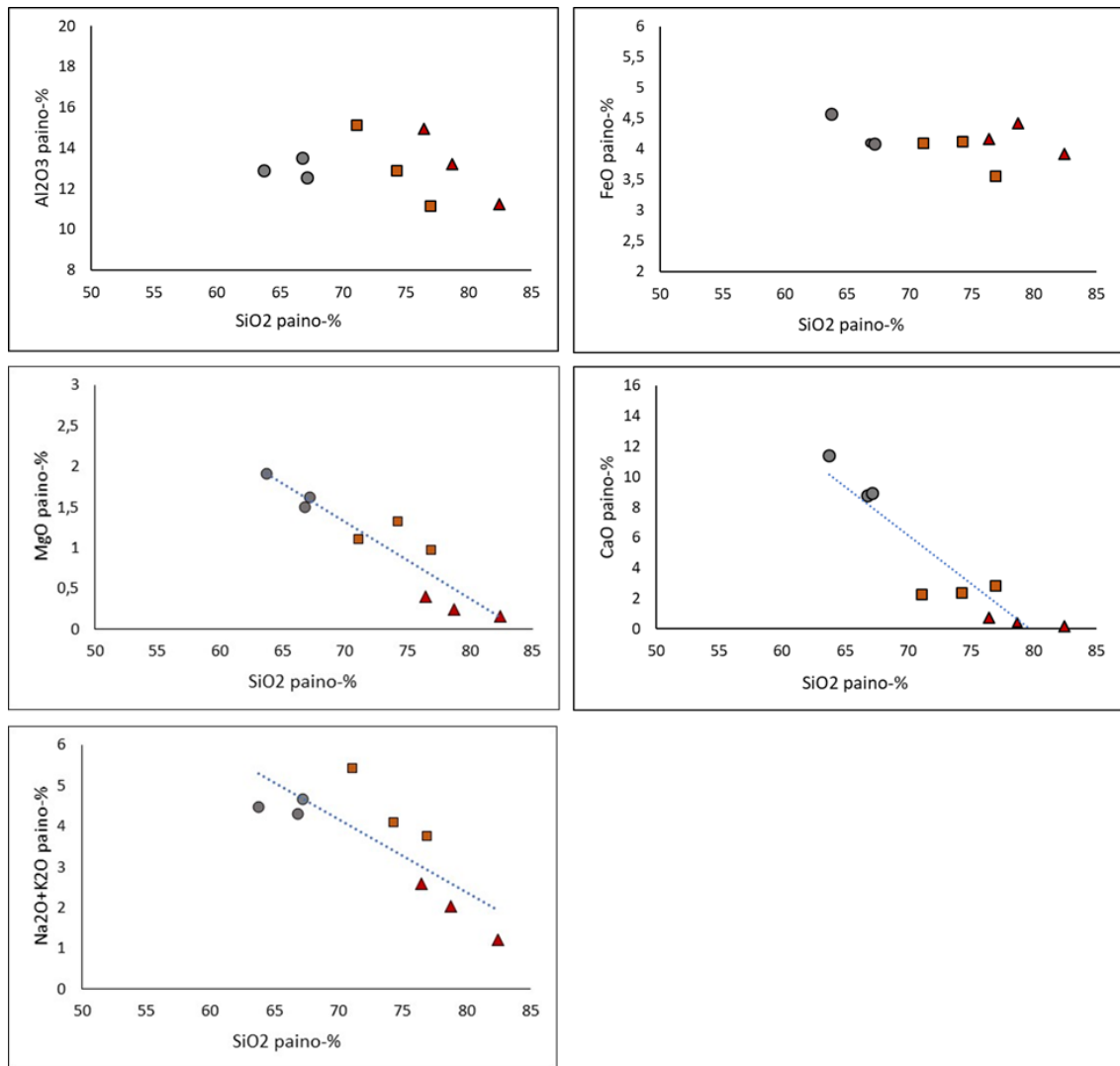
TiO₂-pitoisuus vaihtelee kaikissa maaperänäytteissä väristä tai sen intensiteetistä riippumatta välillä 0,53–0,85 paino-%. Al₂O₃-pitoisuus vaihtelee punaissa maaperänäytteissä välillä 11,21–14,92 paino-%. Ruskeissa maaperänäytteissä Al₂O₃-pitoisuus vaihtelee välillä 11,13–15,10 paino-% ja harmaissa maaperänäytteissä välillä 12,54–13,50 paino-%.

FeO-pitoisuus vaihtelee punaissa maaperänäytteissä välillä 3,91–4,41 paino-%. Ruskeissa maaperänäytteissä FeO-pitoisuus vaihtelee välillä 3,56–4,12 paino-% ja

harmaissa maaperänäytteissä välillä 4,08–4,57 paino-%. Kaikkien maaperänäytteiden MnO-pitoisuus on alle 0,25 paino-%. Al₂O₃- ja FeO-pitoisuudessa suhteessa SiO₂-pitoisuuteen ei ole eroa merkittävää eroa (Kuva 11).

MgO-pitoisuus vaihtelee punaisissa maaperänäytteissä välillä 0,16–0,40 paino-%. Ruskeissa maaperänäytteissä MgO-pitoisuus vaihtelee välillä 0,96–1,32 paino-% ja harmaissa vaihteluväli on 1,50–1,91 paino-%. CaO-pitoisuus vaihtelee selvästi enemmän ollen punaisissa maaperänäytteissä välillä 0,17–0,73 paino-%. Ruskeissa maaperänäytteissä arvot vaihtelevat välillä 2,28–2,85 paino-% ja harmaissa välillä 8,78–11,39 paino-% CaO (Liite 3). MgO- ja CaO-pitoisuuksien muutos SiO₂:n suhteen on samankaltainen kuin kekonäytteissä eli MgO- ja CaO-pitoisuudet kasvavat SiO₂-pitoisuuden vähentyessä (Kuva 11).

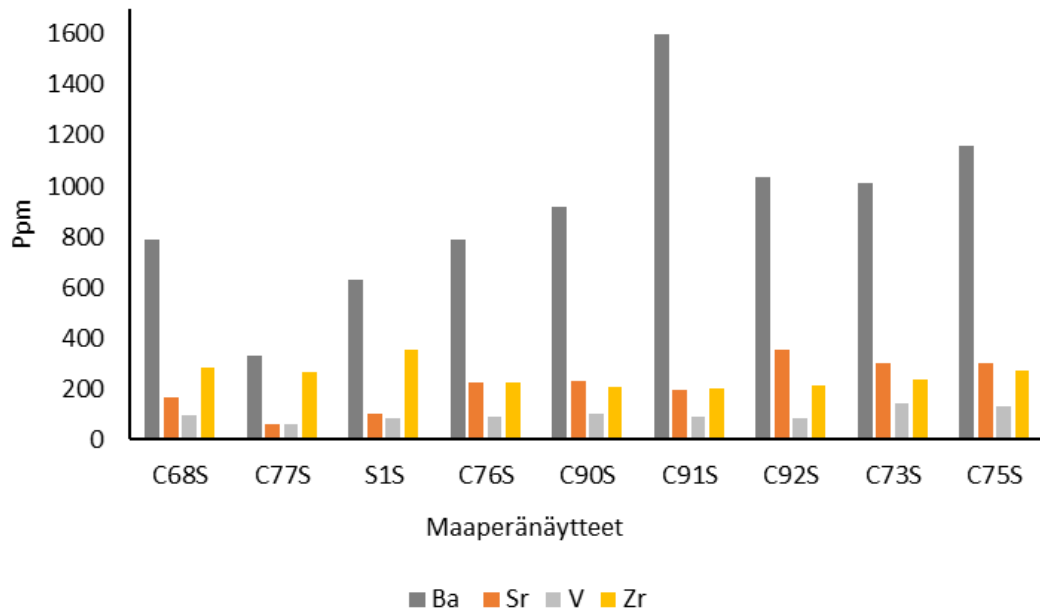
(Na₂O+K₂O) -pitoisuudet punaisissa maaperänäytteissä vaihtelevat välillä 1,2–2,56 paino%. Ruskeissa maaperänäytteissä vaihteluväli on 3,74–5,41 paino-% ja harmaissa 4,30–4,66 paino-%. P₂O₅-pitoisuudet ovat kaikissa näytteissä alle 0,25 paino-%. (Na₂O+K₂O) -pitoisuudet ovat harmaissa ja ruskeissa maaperänäytteissä suuremmat kuin punaisissa maaperänäytteissä, mutta harmaiden ja ruskeiden näytteiden välillä selvää eroa pitoisuuksissa ei ole (Kuva 11).



Kuva 11. XRF-tulokset Kenian Taita Hills Wildlife Sanctuarn alueen maaperänäytteistä. Harmaat kekonäytteet on merkitty ympyrällä, ruskeat neliöllä ja punaiset kolmiolla. Mitattujen oksidien pitoisuuksia on verrattu SiO₂-pitoisuuteen. Al₂O₃- ja FeO-pitoisuuden suhteen selvää trendiä ei ole havaittavissa. MgO- ja CaO-pitoisuudet kasvavat siirryttäessä punaisista kekonäytteistä ruskeiden kautta harmaisiin. Samalla SiO₂-pitoisuus vähenee.

Hivenaineissa bariumin (Ba) pitoisuudet vaihtelevat punaisissa maaperänäytteissä välillä 329–787 ppm, ruskeissa välillä 787–1601 ppm ja harmaissa välillä 1014–1157 ppm (Kuva 12). Strontiumin (Sr) pitoisuudet ovat punaisissa määperänäytteissä pienimmät vaihdellen välillä 60–167 ppm, ruskeissa määperänäytteissä arvot vaihtelevat välillä 193–233 ppm ja harmaissa on korkeimmat arvot välillä 299–356 ppm. Vanadiinin (V) pitoisuuksissa pienin arvo on punaisessa maaperänäytteessä C77S 62 ppm ja suurin pitoisuus harmaassa maaperänäytteessä C 73 S 142 ppm. Zirkoniumin (Zr) arvot

vaihtelevat kaikissa maaperänäytteissä 199–352 ppm, eikä selvää eroa värin vaikutuksesta arvoihin ole havaittavissa. Muiden hivenaineiden pitoisuudet maaperänäytteissä ovat vähäisiä (alle 100 ppm) (Liite 3).



Kuva 12. Taita Hills Wildlife Sanctuarn maaperänäytteiden XRF-analyysin hivenainepitoisuudet bariumin, strontiumin, vanadiinin ja zirkoniumin osalta (ppm). Hivenainepitoisuuden vaihtelussa ei ole havaittavissa trendiä pitoisuuteen värin tai sen intensiteetin muuttumisen vuoksi. Muiden hivenaineiden pitoisuudet olivat alle 100 ppm.

5.2.3 XRF-tulokset värin mukaan

Kaikista väriyhmien edustajista valittiin värin intensiteetin mukaan voimakkaimman värinen keko- ja maaperänäyte, joiden arvoja vertailtiin (Taulukko 1).

Punaisten keko- ja maaperänäytteiden SiO₂-pitoisuus oli suurin ja pitoisuus pienenee ruskeisiin vähän ja harmaisiin näytteisiin verrattuna selvästi. Trendinä on, että SiO₂-pitoisuus on maaperänäytteissä suurempi kuin vastaavassa kekonäytteessä (Taulukko 1).

Al₂O₃-pitoisuuksissa ruskeissa tai harmaissa näytteissä ei ole havaittavissa selviä eroja. Niissä sekä keko- että maaperänäytteiden pitoisuudet vaihtelivat välillä 11,13–15,10 paino-%. Punaissa kekonäytteissä Al₂O₃-pitoisuus on useita %-yksikköjä suurempi kekonäytteissä kuin maaperänäytteissä. Vastaavasti ruskeassa näytteessä C76 tulos oli päinvastainen.

Taulukko 1. XRF-tulokset Kenian Taita Hills Wildlife Sanctuaryn alueen termiittikekojen ja ympäristön (5 m) maaperänäytteiden keskeisistä eroista ja yhtäläisyyksistä väreittäin. Vertailupareiksi valittu jokaisesta väristä sen intensiteetiltään voimakkain näytepari. Tulokset on normalisoitu 100 %.

| Bead | Punaiset | | Ruskeat | | Harmaat | |
|--------------------------------|----------|--------|---------|--------|---------|--------|
| | S1 | S1S | C91 | C91S | C75 | C75S |
| SiO ₂ paino-% | 74,21 | 78,75 | 70,51 | 76,95 | 61,36 | 67,21 |
| TiO ₂ | 0,95 | 0,85 | 0,66 | 0,53 | 0,67 | 0,67 |
| Al ₂ O ₃ | 16,74 | 13,17 | 11,48 | 11,13 | 13,15 | 12,54 |
| FeO | 5,53 | 4,41 | 4,09 | 3,56 | 4,53 | 4,08 |
| MnO | 0,08 | 0,08 | 0,19 | 0,15 | 0,09 | 0,09 |
| MgO | 0,23 | 0,24 | 1,16 | 0,96 | 1,94 | 1,62 |
| CaO | 0,30 | 0,39 | 8,14 | 2,85 | 13,76 | 8,93 |
| Na ₂ O | 0,36 | 0,43 | 1,20 | 1,12 | 1,57 | 1,66 |
| K ₂ O | 1,51 | 1,59 | 2,40 | 2,62 | 2,64 | 3,00 |
| P ₂ O ₅ | 0,10 | 0,11 | 0,17 | 0,13 | 0,28 | 0,19 |
| Summa | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| | | | | | | |
| Ba ppm | 562 | 632 | 1304 | 1601 | 987 | 1157 |
| Cr | 46 | 56 | 52 | 46 | 54 | 39 |
| Cu | 69 | 35 | 44 | 38 | 54 | 29 |
| Ni | 43 | 31 | 40 | 37 | 41 | 30 |
| Rb | 93 | 47 | 57 | 58 | 51 | 58 |
| Sr | 36 | 99 | 317 | 193 | 333 | 299 |
| V | 388 | 82 | 96 | 91 | 150 | 133 |
| Y | 59 | 19 | 24 | 18 | 22 | 31 |
| Zn | 26 | 31 | 45 | 42 | 55 | 44 |
| Zr | 22 | 352 | 241 | 199 | 219 | 273 |
| Nb | 35 | 32 | <28 | <28 | <28 | <28 |
| U | 21 | <11 | <11 | <11 | <11 | <11 |
| La | 100 | 25 | 18 | 18 | 28 | 37 |
| Ce | <2 | 30 | 37 | 9 | 53 | 54 |

FeO-pitoisuus on punaisissa kekonäytteissä suurin ollen suurimmillaan 5,53 paino-% (S1) ja pitoisuus on noin 1 paino-% suurempi punaisissa kekonäytteissä kuin maaperänäytteissä. Ruskeissa tai harmaissa näytteissä ei ollut selvää eroa FeO-pitoisuudessa kekojen ja maaperänäytteiden välillä.

MgO-pitoisuus on kaikissa näytteissä matala (alle 2 paino-% MgO). Pientä eroa värien välillä on niin, että pitoisuudet ovat punaisissa keko- ja maaperänäytteissä alle 0,5 paino-% MgO. Ruskeissa keko- ja maaperänäytteissä pitoisuudet vaihtelevat välillä 0,96–1,34 paino-% ja harmaiden näytteiden vaihteluväli on 1,50–1,94 paino-% MgO.

Suurimmat erot (SiO_2 -pitoisuuksien lisäksi) näytteiden välillä on CaO-pitoisuuksissa. CaO ei ole juuri lainkaan punaisissa näytteissä. Sekä keko- että maaperänäytteiden pitoisuudet ovat alle 1 paino-%. Ruskeissa maaperänäytteissä pitoisuudet jäävät alle 3 paino-% CaO. Ruskeissa kekonäytteissä CaO-pitoisuus on selvästi suurempi kuin vastaavissa maaperänäytteissä ja kekonäytteiden pitoisuudet vaihtelevat välillä 6,42–8,14 paino-%. Harmaissa näytteissä tilanne on samankaltainen, mutta pitoisuudet ovat suuremmat kuin ruskeissa näytteissä. Harmaiden näytteiden CaO-pitoisuudet ovat kekonäytteissä 13–14 paino-% ja maaperänäytteiden pitoisuudet ovat välillä 8,78–11,39 paino-% (Taulukko 1).

Hivenaineissa bariumin (Ba) arvot ovat suurimmat (319–1601 ppm) (Taulukko 1). Harmaissa näytteissä oli keskimäärin suuremmat arvot kuin punaisissa näytteissä. Jokaisessa värissä kekonäytteiden ja maaperänäytteiden pitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa. Muiden hivenaineiden kohdalla kekonäytteiden ja maaperänäytteiden pitoisuudet ovat lähellä toisiaan riippumatta väristä. Pitoisuudet ovat yleisesti alhaisia (100 ppm tai alle). Strontiumin (Sr) pitoisuudet vaihtelevat välillä 29–435, joista pienin arvo on punainen kekonäyte C77 ja suurin arvo on harmaassa kekonäytteessä C92. Vanadiinin (V) pitoisuus on kahdessa punaisessa kekonäytteessä muita näytteitä korkeampi: 311 ppm (C77) ja 388 ppm (S1). Kaikissa muissa näytteissä pitoisuudet ovat 150 ppm tai sen alle. Zirkoniumin (Zr) pitoisuus vaihtelee eri näytteiden ja värien välillä 184–352 ppm ilman selvää trendiä, mutta punaisissa kekonäytteissä C77 ja S1 pitoisuudet ovat lähes nolla-arvoja (17 ja 22 ppm Zr).

5.3 XRD

5.3.1 XRD-tulokset kekonäytteistä

Punaisten kekonäytteiden päämineraalikoostumus on näytteessä C68 kvartsi, mikrokliini, ortoklaasi, albiitti ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), hematiitti ja kaoliniitti (Taulukko 2). Punaisen kekonäytteen C68 diffraktogrammissa on myös viitteitä zirkonista (ZrSiO_4). Kekonäyte C77 sisältää kvartsia, mikrokliinia, hematiittia ja kaoliniittia ja näyte S1 kvartsia, albiittia, ortoklaasia, hematiittia ja kaoliniittia

Ruskeiden kekonäytteiden päämineraalikoostumus on näytteessä C76 kvartsi, albiitti, kalsiitti, mikrokliini ja ortoklaasi. Kekonäyte C90 sisältää kvartsia, anortiittia ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), albiittia, kalsiittia (CaCO_3) ja mikrokliinia. Näytteessä C91 on kvartsia, kalsiittia, mikrokliinia, albiittia ja muskoviittia ($\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$).

Harmaiden kekonäytteiden päämineraalikoostumus on näytteessä C92 kvartsi, kalsiitti, albiitti, anortiitti ja muskoviitti. Lisäksi näytteessä C92 on viitteitä korundista (Al_2O_3). Kekonäytteessä C73 mineraalikoostumus on kvartsi, kalsiitti, mikrokliini, albiitti ja ortoklaasi. Näytteen C75 mineraalikoostumus on kvartsi, kalsiitti, mikrokliini ja albiitti.

Taulukko 2. Taita Hills Wildlife Sanctuaryn termiittikekojen mineraalikoostumus XRD-analyysin mukaan. Kaikissa näytteissä on kvartsia ja maasälpä. Ruskeissa ja harmaissa näytteissä on lisäksi kalsiittia.

| Näytetunnus | Näytteen väri | Mineraalit |
|-------------|---------------|---------------------------------------------------------------------|
| C68 | Punainen | Kvartsi, mikrokliini, ortoklaasi, albiitti, hematiitti, kaoliniitti |
| C77 | Punainen | Kvartsi, mikrokliini, hematiitti, kaoliniitti |
| S1 | Punainen | Kvartsi, albiitti, ortoklaasi, hematiitti, kaoliniitti |
| C76 | Ruskea | Kvartsi, albiitti, kalsiitti, mikrokliini, ortoklaasi, |
| C90 | Ruskea | Kvartsi, anortiitti, albiitti, kalsiitti, mikrokliini |
| C91 | Ruskea | Kvartsi, kalsiitti, mikrokliini, albiitti, muskoviitti |
| C92 | Harmaa | Kvartsi, kalsiitti, albiitti, anortiitti, muskoviitti |
| C73 | Harmaa | Kvartsi, kalsiitti, mikrokliini, albiitti, ortoklaasi |
| C75 | Harmaa | Kvartsi, kalsiitti, mikrokliini, albiitti |

5.3.2 XRD-tulokset maaperänäytteistä

Punaisten maaperänäytteiden päämineraalikoostumus on näytteessä C68S kvartsi, mikrokliini, albiitti ja hematiitti (Taulukko 3). Maaperänäytteen C77S mineraalikoostumus on kvartsi, mikrokliini, kaoliniitti ja hematiitti. Maaperänäytteen S1S mineraalikoostumus on kvartsi, mikrokliini, albiitti ja hematiitti.

Ruskeiden maaperänäytteiden päämineraalikoostumus on näytteessä C76S kvartsi, albiitti ja mikrokliini. Maaperänäytteessä C90S mineraalikoostumus on kvartsi, albiitti ja anortiitti ja grafiitti (C). Tässä näytteessä on myös viitteitä rutiilista (TiO_2). Mäpäperänäytteessä C91S on kvartsia, mikrokliinia, albiittia ja kalsiittia.

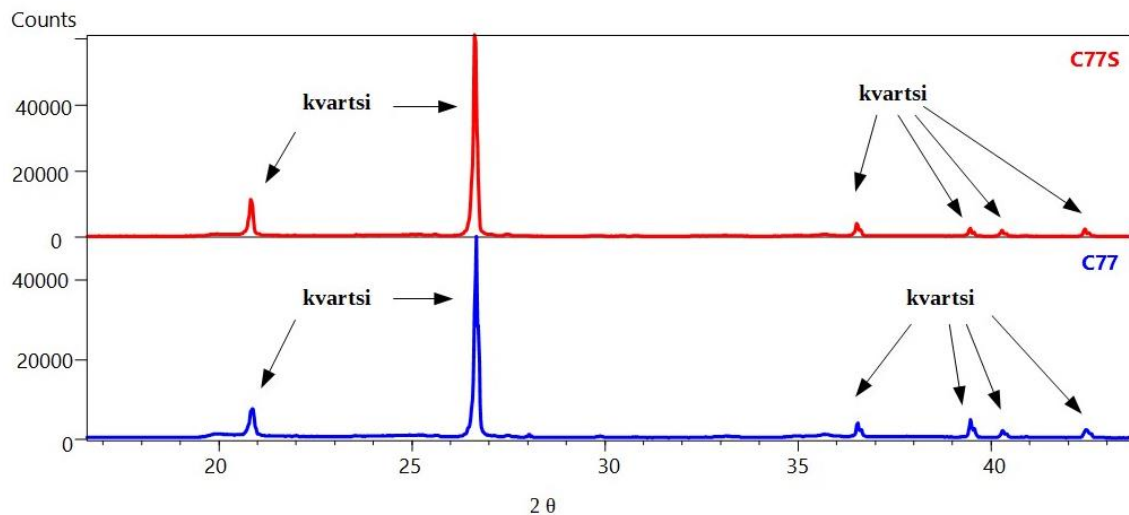
Harmaiden maaperänäytteiden päämineraalikoostumus on näytteessä C92S kvartsi, albiitti, kalsiitti ja ortoklaasi. Maaperänäytteessä C73S mineraalikoostumus on kvartsi, albiitti, kalsiitti ja mikrokliini. Näytteessä C75S on kvartsia, albiittia, kalsiittia ja mikrokliinia.

Taulukko 3. Taita Hills Wildlife Sanctuaryn termiittikekojen ympäristön maaperänäytteiden mineraalikoostumus XRD-analyysin mukaan. Kaikissa näytteissä on kvartsia ja maasälpä. Yhdessä ruskeissa ja kaikissa harmaissa näytteissä on lisäksi kalsiittia.

| Näytetunnus | Näytteen väri | Mineraalit |
|-------------|---------------|-----------------------------------------------|
| C68S | Punainen | Kvartsi, mikrokliini, albiitti, hematiitti |
| C77S | Punainen | Kvartsi, mikrokliini, kaoliniitti, hematiitti |
| S1S | Punainen | kvartsi, mikrokliini, albiitti, hematiitti |
| C76S | Ruskea | kvartsi, albiitti, mikrokliini |
| C90S | Ruskea | kvartsi, albiitti, anortiitti, grafiitti |
| C91S | Ruskea | kvartsi, mikrokliini, albiitti, kalsiitti |
| C92S | Harmaa | Kvartsi, albiitti, kalsiitti, ortoklaasi |
| C73S | Harmaa | kvartsi, albiitti, kalsiitti, mikrokliini |
| C75S | Harmaa | kvartsi, albiitti, kalsiitti, mikrokliini |

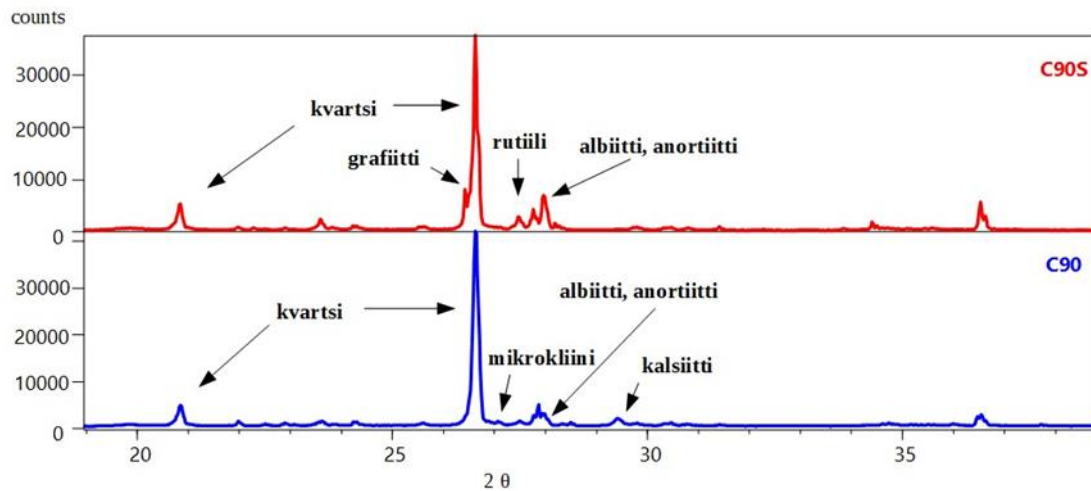
5.3.3 XRD-tulokset värin ja intensiteetin mukaan

Punaiset keko- ja maaperänäytteet poikkeavat muun värisistä näytteistä eniten. Niissä on kvartsia ja maasälpä, mutta ei kalsiittia. Kaikissa punaisissa näytteissä on hematiittia ja kaikissa punaisissa kekonäytteissä lisäksi kaoliniittia. Maaperänäytteissä oli yhdessä (C77S) kaoliniittia ja kahdessa ei. Punaisten kekonäytteiden ja maaperänäytteiden esimerkkinäytteistä C77 ja C77S voidaan havaita, että diffraktogrammit vastaavat hyvin toisiaan (Kuva 13). Kvartsin piikkien intensiteetit ovat korkeat molemmissa näytteissä ja muiden mineraalien piikit jäävät mataliksi.



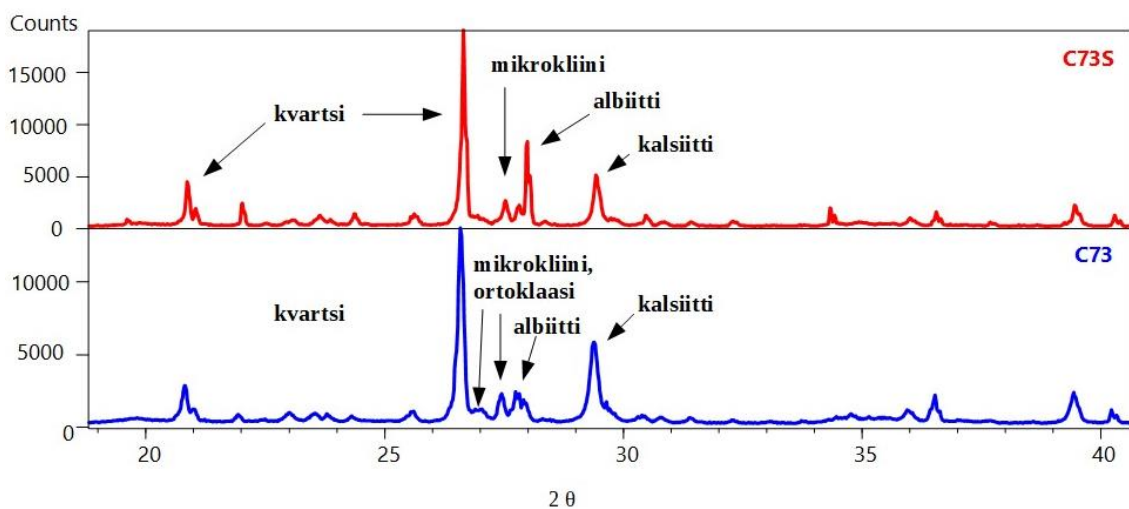
Kuva 13. Taita Hills Wildlife Sanctuaryn punaisten termiittikekojen ja maaperän diffraktogrammit ovat hyvin samankaltaiset, ja molempien näytteiden kohdalla kvartsin intensiteetti on korkea.

Ruskeissa näytteissä on eniten eroa keon ja maaperän välillä. Kaikissa kekonäytteissä on kvartsia, maasälpä ja kalsiittia, mutta maaperänäytteistä vain C91S sisältää kalsiittia. Vastaavasti maaperänäytteissä näytteessä C90S on grafiittia mitä ei muista näytteistä löydy. Keko- ja maaperänäytteiden välillä mineraalikoostumuksessa on selkeimmät erot näytteiden C90 ja C90S välillä (Kuva 14).



Kuva 14. Taita Hills Wildlife Sanctuaryn ruskean kekonäytteen (C90) ja ruskean maaperänäytteen (C90S) XRD-diffraktogrammeissa on eroja mineralogiassa. Maaperänäytteessä on kvartsin lisäksi grafiitti, plagioklaasia ja rutiilia. Kekonäytteessä on kvartsin lisäksi vain kalsiittia ja maasälpä.

Harmaiden keko- ja maaperänäytteiden mineraalikoostumus on samankaltainen. Molemmista on kvartsia, kalsiittia ja maasälpä. Lähinnä vaihtelua on kunkin mineraalin intensiteetin määrässä eri näytteiden välillä. Näytteiden C73 ja C73S kohdalla on vaihtelua maasälpäen intensiteeteissa. Maaperänäytteessä C73S korostuu vahvimmin albiitti, mutta siitä puuttuu ortoklaasi (Kuva 15).



Kuva 15. Taita Hills Wildlife Sanctuaryn harmaiden termiittikeko- ja maaperänäytteen mineraalit ovat kvartsi, kalsiitti, albiitti ja mikrokliini. Kekonäytteessä C73 on lisäksi ortoklaasista.

Yleisesti näytteistä voi havaita, että maaperänäytteen mineralogia on yksikertaisempaa kuin kekonäytteen. Mineraalikoostumuksessa on eroja värien välillä. Kuitenkaan

minkään värin intensiteetin muutoksessa ei selittäväksi tekijäksi löydy selvää mineralogista syytä. Maaperänäytteiden värit ovat hyvin lähellä kekojen värejä, vaikka mineralogiassa onkin havaittavissa pieniä eroja.

6. TULOSTEN TARKASTELU

On selvää, että Taita Hills Wildlife Sanctuaryn alueella on termiittikekoja, jotka ovat selvästi toisistaan poikkeavan värisiä. Tämän voi havaita jo pelkästään alueella liikkuesssa. Näköhavaintojen perusteella keot voi jakaa kolmeen väriyhmään: punaiset, ruskeat ja harmaat.

6. 1 Menetelmän soveltuvuus aineistoon ja keskeiset tulokset

Menetelmät soveltuivat tutkimusaineiston kemiallisen ja mineralogisen koostumuksen tutkimiseen hyvin. Näytteiden käsittelyssä ei ilmennyt ongelmia, jotka olisivat vaikuttaneet tuloksiin merkittävästi. Kontaminaatio-mahdollisuus pyrittiin ottamaan huomioon näytteidenotossa, kuljetuksessa ja käsittelyssä. Näytteenotto tapahtui kallioperäkartoituksen kannalta liian pieneltä alueelta eikä kekonäytteenotossa ollut huomioitu riittävästi kallioperäkartan tietoja vaan ne oli valittu lähinnä termiittikekojen ja maaperän värien mukaan. Tämän vuoksi kekojen läheisyydestä ei löytynyt näytteenottoon soveltuvia kalliopaljastumia.

Kemiallisen koostumuksen kohdalla XRF-tulokset olivat selkeitä, mutta pientä eroa voi tulla tuloksiin siitä, että suoraan näytteisiin verrannollista kalibraatiota ei ole mahdollista laitteeseen asettaa. Tämän vaikutus tuloksiin on kuitenkin vähäinen. XRD:n analyysien kohdalla tulokset olivat haastavammat tulkita, koska kyseessä oli ns. kokonaisnäyte, joka antaa tuloksiin lukuisia piikkivaihtoehtoja, jotka menevät osittain päällekkäin. 3–4 yleisintä päämineraalia on mahdollista tulkita luotettavasti, mutta aksessoriset mineraalit saattavat jäädä havaitsematta tai niiden tulkinnasta saadaan virheellisiä tuloksia.

Eri värien välillä on eroa kemiallisessa koostumuksessa ja mineralogiassa. Kemiallisen koostumuksen suurimmat erot ovat CaO-pitoisuudessa ja SiO₂:n määrässä. CaO-pitoisuuden määrä on punaisissa näytteissä vähäinen ja harmaissa näytteissä on suurimmat arvot. Vastaavasti SiO₂-pitoisuus on punaisissa näytteissä suurin ja harmaissa pienin. Harmaidenkin näytteiden SiO₂-pitoisuus on kuitenkin korkea, kaikissa näytteissä yli 60 paino-% SiO₂.

Kekonäytteet ja maaperänäytteet vastaavat kemialliselta koostumukseltaan hyvin toisiaan. Erot ovat suhteellisen pieniä. Lähinnä SiO₂-pitoisuus on kekonäytteissä pienempi kuin maaperänäytteissä. Vastaavasti CaO-pitoisuus ja Al₂O₃-pitoisuus ovat korkeampia keoissa kuin maaperässä.

Ruskeiden näytteiden kohdalla on suurin ero keko- ja maaperänäytteiden välillä CaO-pitoisuudessa. Ruskeiden näytteiden oksidipitoisuuksien arvot asettuvat useimmiten harmaiden ja punaisten näytteiden väliin. Tämä tukee teoriaa, että niiden materiaalit voivat olla eniten sekoittuneita. Niissä on aineksia sekä punaisten että harmaiden kivien lähtömateriaaleista. Tätä tukee myös ruskeiden kekojen sijainti kartalla harmaiden ja punaisten kekojen välisellä alueella, jossa ne saattavat olla sadekauden aikana tulvavesien vaikutuksen alaisena.

Harmaiden ja ruskeiden näytteiden koostumukset eivät vastaa mitään luonnollista magma-/ metamorfista kiveä. Niissä on liian korkea SiO₂-pitoisuus ja liian korkea CaO-pitoisuus samassa näytteessä. MgO-pitoisuus on kaikissa näytteissä alhainen (alle 2 paino-%). Myös mineraalit ovat ristiriidassa. XRD-analyysin mukaan näytteissä on sekä kvartsia että kalsiittia, mutta ei dolomiittia.

6.2 Kekojen koostumuksen suhde kallioperään

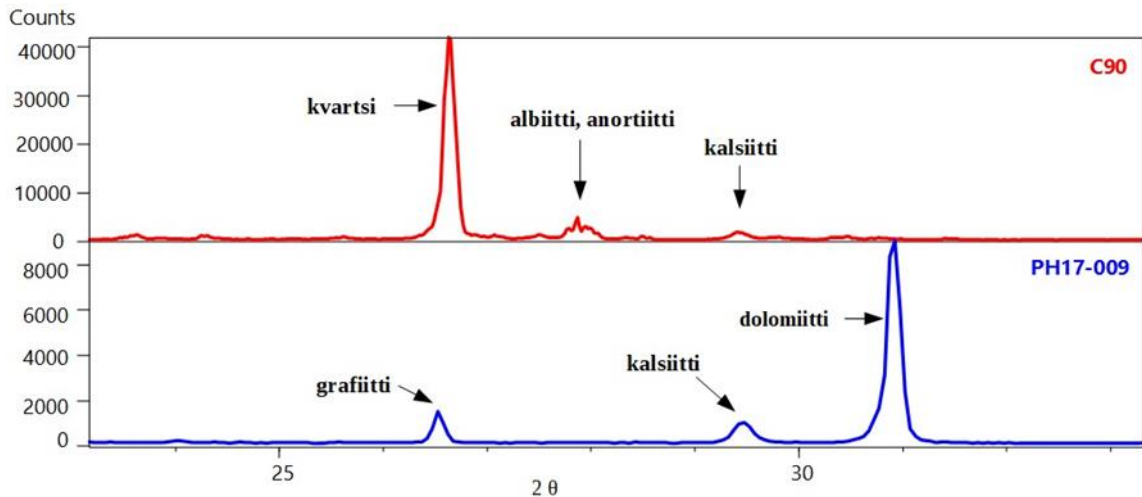
Elatikpo et al. (2013) tutki Nigeriassa gneissejä, joihin oli tunkeutunut Pan-African granitoideja. Alueen kivissä on sekä magma- että metamorfisia kiviä. Metamorfiset kivet ovat lähinnä liuskeita ja migmatiitteja. Gneissien päämineraalit ovat kvartsi, mikrokliini, plagioklaasi, sarvivälke, biotiitti ja ortoklaasi. Aksessorisina mineraaleina on granaattia, zirkonia, apatiittia ja titaniittia. Geokemiallisissa tutkimuksissa saatiin SiO₂-pitoisuudeksi

63,85–73,84 paino-%, Al_2O_3 -pitoisuudeksi 12,77–16,05 paino-% ja Fe_2O_3 -pitoisuus vaihteli välillä 1,18–6,70 paino-%. Na_2O vaihteli välillä 1,93–4,78 paino-% ja K_2O välillä 1,49–6,96 paino-%. Gneissien tulkittiin olevan magmakivistä lähtöisin, koska niistä puuttuvat paragneisseille tyypilliset korkean paineen metamorfiset mineraalit kuten kyaniitti, sillimaniitti, staurolitti ja kordieriitti. Vastaavasti Kurasen gneissien päämineraalit ovat kvartsi, kalimaasälpä ja plagioklaasi (Horkel et al. 1979). Aksessorisina mineraaleina on biotiittia, muskoviittia, granaattia, grafiittia, kyaniittia, staurolittia, magnetiittia ja korundia. Punaisten keko- ja maaperänäytteiden kemiallinen koostumus on samankaltainen kuin Nigerian gneisseissä, samoin mineraalikoostumus päämineraalien osalta (aksessoristen mineraalien osalta on liian vähän tietoa). Mineraalikoostumus vastaa myös Kurasen gneissien koostumusta, jotka ovat sedimenttikivistä lähtöisin. Punaisten keko- ja maaperänäytteiden kemiallisen- ja mineralogisen koostumuksen perusteella ne voisivat edustaa alueen rapautuneita biotiittigneissejä. Tulkinta on kuitenkin vaikeaa ilman kiviläytteenäytteitä. Kurase- ja Kasigau-ryhmien gneissien mineraalikoostumuksissa on useita tummia mineraaleja kuten biotiitti, sarvivälke ja pyrokseenit (Horkel et al. 1979). Tutkituista keko- ja maaperänäytteistä tummia mineraaleja löytyi vähän.

Horiuchi et al. (2014) tutkimuksessa on selvästi nähtävissä, että termiittikeon mineraalikoostumus ei vastaa alla olevan kivilajin koostumusta. Erityisesti poikkeavuutta on kvartsin ja FeAl-silikaattien määrässä. Tutkimusalueen koko oli 1200x800 m ja sen termiittipesät sijoituivat sekä aktinoliittivyöhykkeeseen että graniittiseen vyöhykkeeseen. Aktinoliittikivessä kvartsin osuus oli 0,24 paino-% ja aktinoliittivyöhykkeellä sijaitsevassa termiittikeossa kvartsin osuus oli 24,82 paino-%. Graniittisen vyöhykkeen termiittipesässä kvartsia oli 36,39 paino-%. Ferro-aktinoliitin osuus oli kivessä 89,89 paino-%, mutta termiittikeoissa sen osuus oli alle 0,2 paino-%. Johtopäätös oli, että mineraali on todennäköisesti hajonnut rapautumisprosessien seurauksena. Tutkimuksen tulokset ovat hyvin linjassa tämän työn tulosten kanssa.

Juha Karhun Taita Hills Wildlifde Sanctuaryn alueelta toimittaman ja Pasi Heikkilän tutkiman karbonaattikiviläytteen (PH17-009) XRD-tutkimuksen mukaan harmaan marmorin päämineraaleina ovat dolomiitti, kalsiitti ja grafiitti. Jos XRD- profiiliin verrataan harmaiden kekonäytteen C90 tuloksia, niin voi havaita, että

mineraalikoostumus on hyvin erilainen (Kuva 16). Marmorin sisältämää dolomiittia ei ole missään keko- tai maaperänäytteessä. Sen sijaan kaikissa harmaissa ja ruskeissa kekonäytteissä ja harmaissa maaperänäytteissä esiintyy kalsiittia.



Kuva 16. Taita Hills Wildlife Sanctuarin alueen marmorinäytteessä (PH17-009) on dolomiittia, kalsiittia ja grafiittia (Heikkilä 2017). Saman alueen harmaa termiittikekonäytteen (C90) mineraalit ovat kvartsi, albiitti, anortiitti ja kalsiitti.

Martikaisen (2017) tutkielmassa Kurasen karbonaattikivien Mg-pitoisuudet MP-AES -menetelmällä mitattuna olivat keskimäärin 11,17 %. Pitoisuudet vaihtelivat välillä 0–14,1 % Mg. Ca-pitoisuudet olivat keskimäärin 21,7 %, vaihdellen välillä 0–39,1 %. Näytteiden keskimääräinen Mg/Ca -suhde oli 0,56. Tässä työssä mitatuissa saatujen tulosten mukaan kaikkien keko- ja maaperänäytteiden MgO-pitoisuudet olivat alle 2 paino-%. Myös harmaissa kekonäytteissä, joissa oli suurin CaO-pitoisuus, on alhaisempi keskiarvo (13,57 paino-%) verrattuna Kurasen karbonaattikivien Ca-pitoisuuden keskiarvoon.

Graft (1960) vertaili tutkimuksessaan erilaisten karbonaattisedimenttien ja karbonaattikivien kemiallisia koostumuksia. Missään tutkituissa näytteissä SiO₂-pitoisuus ei ollut yli 60 paino-%. Suurimmat SiO₂-pitoisuudet olivat punaisen saven keskimääräisessä koostumuksessa, jossa on mukana CaO- ja MgO-oksideja. Näiden näytteiden pitoisuudet olivat: 52,8 paino-% SiO₂, 7,7 paino-% CaO ja 2,9 paino-% MgO. Kalkkikivinäytteen keskimääräinen koostumus oli tärkeimpien oksidien kohdalla: SiO₂ 0,48 paino-%, CaO 44,62 paino-% ja MgO 8,57 paino-%. Täten harmaiden kekojen ja maaperänäytteiden SiO₂-pitoisuus on liian suuri ja CaO- ja MgO-pitoisuus liian pieni, jotta ne voisivat edustaa suoraan kalkkikiven koostumusta. Horkel et al. (1979) mukaan

Taita Hillsin lounaisosien marmorien MgO-pitoisuus vaihtelee välillä 17,6–18,2 paino-% MgO, SiO₂-pitoisuus vaihtelee välillä 1,0–1,56 paino-% ja CaO-pitoisuus on 32,2–32,48 paino-%.

Punaisten kekonäytteiden hivenaineissa havaitun korkeamman vanadiinipitoisuuden taustalla on todennäköisesti neoproterotsooisen Mozambique Beltin vanadiinirikkaat metamorfoituneet sedimenttikivet. Esimerkkinä vanadiinipitoisesta ympäristöstä on Tsavon alueella esiintyvä vanadiinipitoinen granaatti eli tsavoriitti (Fenevrol et al. 2014). Vanadiinipitoisuus ei kuitenkaan näissä näytteissä ole merkittävän suuri ja maaperänäytteissä pitoisuudet ovat matalat. Bariumin korkeammat arvot liittyvät metasedimenttikivien yhteydessä esiintyviin metaevaporiittiesiintymiin. Molempien hivenaineiden taustalla ovat grafiittigneissit, -liuskeet ja grafiittipitoiset kalkkisirikaatit, jotka ovat yhteydessä dolomiittisiin marmoreihin. Metamorfoituneista evaporiittilinsseistä on löydetty bariittia, anhydriittia ja kipsiä.

6.3 Kekojen ja maaperän koostumuksen suhde

Maitera et al. (2015) tutkivat Nigeriassa termiittikekojen ja maaperän kemiallisen ja mineralogisen koostumuksen samoilla menetelmillä (XRF ja XRD) ja tulos oli, että kekojen ja maaperän koostumusten välillä ei ole merkittävää eroa. Tulos on samassa linjassa tämän tutkimuksen tulosten kanssa. Maitera et al. (2015) mukaan maaperä edustaa alla olevaa kallioperää niin, että menetelmää voidaan käyttää malminetsintään. Malminetsinnässä riittää yksittäisen alkuaineen (usein hivenaineen) tulos, jolloin menetelmä toimii paremmin. Tässä työssä oli tavoitteen selvittää kallioperän kivilajeja ja tähän tarkoitukseen menetelmä ei sovellu samalla tavalla.

Reddy (2014) tutki termiittikekoja Intiassa alueella, jossa kaivetaan kromimalmia. Tutkimuksessa tutkittiin kromin (Cr) lisäksi myös muita metalleja kuten Co, Ni, Pb, Zn, Cu, Fe, Mn, and Mo. Tutkimuksessa verrattiin näiden alkuaineiden määriä ympäröivän maaperän määriin. Tuloksien kuvaamisessa käytettiin biologista absorptiokerrointa (BAC), jossa termiittikeon pitoisuus jaetaan maaperän pitoisuudella. Kaikkien edellä mainittujen metallien pitoisuudet olivat termiittikeoissa korkeammat kuin maaperässä.

Erityisesti kromin pitoisuus oli termiittikeoissa selvästi maaperää suurempi indikoiden kromiittivyöhykettä alueella. Muiden alkuaineiden kohdalla pitoisuudet olivat pieniä, pääosin alle 100 ppm. Vastaavien alkuaineiden pitoisuudet olivat tässä työssä niin pienet ettei merkittävää eroa keon ja maaperän välillä ole havaittavissa. Sen sijaan on havaittavissa, että SiO_2 -pitoisuus on keoissa pienempi kuin maaperässä kaikissa väreissä.

Mujinya et al. (2012) mukaan termiittikeoissa on 1,7–2,3 kertaa suurempi CaCO_3 -pitoisuus maaperänäytteisiin verrattuna. CaCO_3 -pitoisuus oli suurin näytteissä, joiden lähtökivenä oli liuske ja pienin näytteissä, joiden lähtökivenä oli konglomeraatti. Myös tässä työssä CaO -pitoisuus on suurempi ruskeissa ja harmaissa kekonäytteissä kuin vastaavissa maaperänäytteissä. Mineraalikoostumus oli samankaltainen termiittikeon ja maaperän välillä, mutta savimineraalien osuus termiittikeojen kokonaismäärästä oli kaksikertainen maaperänäytteisiin verrattuna. Tämän vuoksi termiittikeojen raekokojakauma oli hienoainesvaltaisempaa kuin ympäröivän maaperän näytteet. Tämä selittää keon SiO_2 -pitoisuutta. SiO_2 tulee kekonäytteisiin pääasiassa kvartsista.

Liu et al. (2007) tutkimus tukee kalsiitin esiintymistä keko- ja maaperänäytteissä. Siinä vertailtiin, onko kalsiumkarbonaattimineraalien lähde biomineralisaatio vai maaperästä kuljetettu aines. Tutkimuksen mukaan karbonaattien mineralogiset ominaisuudet vastasivat maaperästä tulevia mineraaleja ja yhtenä mineraalina oli kalsiitti. Näissä maaperänäytteissä ei ollut viitteitä kohonneesta Mg-pitoisuudesta. Päätelmänä oli, että termiitit kuljettavat syvemältä maaperästä mineraaleja kekoonsa. Kalsiitin lisäksi kekomateriaalina oli XRD-tutkimusten mukaan mm. kvartsia, maasälpä ja muita maaperän mineraaleja. Kalsiittia esiintyi vain sellaisen maaperän alueella, jonka maannoshorisontissa oli karbonaattipitoinen kerros.

Kivien fysikaalisen rapautumisen jälkeen niihin vaikuttavat biologinen ja kemiallinen rapautuminen. Koska maaperän rapautuneet mineraalit ovat epästabiileja, rapautumisen seurauksena mineraalit muuttuvat uuteen faasiin tai liukenevat. Rapautumisprosessien myötä mineraalit kiteytyvät uudelleen tai poistuvat liuenneena sedimenteistä. Jopa kaikkein kestävimmissä mineraaleissa kuten kvartsissa, zirkonissa ja rutiilissa voi havaita rapautumisesta johtuvia muuttumisen merkkejä. Tämän vuoksi maaperästä tutkittujen mineraalien käyttäminen alkuperäisen lähtökivilajin välineenä on vaikeaa tai mahdotonta.

Sekundääriset mineraalit maaperässä ovat usein niin hienorakeisia, että niiden tunnistaminen on myös siksi hankalampaa.

6.4 Kekojen värierot

Kekojen ja maaperänäytteiden FeO-pitoisuudet ovat kaikissa näytteissä noin 3,5–5,5 paino-%. Tämä tulos ei yksin selitä värien eroja näytteiden välillä. On kuitenkin syytä ottaa huomioon, että mineralogisen koostumuksen mukaan punaisissa näytteissä on raudan lähteenä hematiittia. Ruskeissa ja harmaissa näytteissä ei mineraalikoostumuksessa tullut ilmi hematiittia. Hematiittipigmentti tuottaa voimakkaan punaisen värin. Lisäksi punaisissa näytteissä on noin kaksi paino-% suurempi FeO-pitoisuus, jolla on myös vaikutusta väriin. Missään väriryhmässä värin intensiteetillä ei ole havaittavaa trendiä suhteessa sen kemialliseen koostumukseen.

Ruskeiden ja harmaiden näytteiden väriin vaikuttaa suurempi CaO-pitoisuus, joka tulee vaaleasta (jopa lähes kirkkaasta) kalsiitista. Näytteiden tuloksissa näkyy karkearakeisen marmorin rapautuminen. Rapautunut aines on kasaantunut ja saostunut kovaksi, maaperän päällimmäiseksi, kerrokseksi tai maaperän sisään. Rapautunut aines on Ca-rikasta.

7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Termiittikekojen käyttö tutkimusaineistona näillä tutkimusmenetelmillä (XRF ja XRD) ei ole yleisesti käytetty menetelmä. Yksittäisten alkuaineiden ja oksidien mittaamiseen ne kuitenkin soveltuvat hyvin. Tällöin ei tarvitse tietää alla olevan kallioperän kivilajeja tarkalleen vaan voidaan kartoittaa nopeasti ja edullisesti tutkimusalueen potentiaalia. Tämä tutkimus oli uusi ja innovatiivinen kokeilu menetelmän soveltuvuudesta kallioperäkartoitukseen voimakkaasti rapautuneella alueella, jossa kalliopaljastumia on vähän.

Termitit hakevat keon rakentamiseen tarvitsemansa materiaalia syvältä maaperästä, läheltä pohjaveden pintaa ja siksi keko voisi edustaa kallioperän koostumusta. Koska termitit valitsevat kekomateriaaliin sopivimmat rakeet ja tiivistävät sitä hienoaineksella, ne samalla muuttavat kekomateriaalin koostumusta verrattuna ympäristöön. Tämän tutkimuksen antamien tulosten perusteella voi todeta, että kekomateriaalit edustat rapautuneen maaperän koostumusta, joka on lähtöisin alla olevasta kivilajista. Näytteiden kemiallinen ja mineraloginen koostumus, väristä riippumatta, ei vastaa yksiselitteisesti mitään kivilajia, joka on alueen kallioperäkarttaan merkitty. Värien intensiteetti ei myöskään ole suoraan suhteessa keko- tai maaperänäytteiden kemialliseen koostumukseen. Sen sijaan kekonäytteiden kemiallinen koostumus ja mineraalikoostumus edustavat niitä ympäröivän rapautuneen maa-aineksen koostumusta.

Vaikka kekonäytteet eivät edusta suoraan alueen kallioperän kivilajeja, niin syy kekojen värieroihin on rapautuneen aineksen lähtökivissä. Punaisten kekojen värin taustalla on lateriittiseen maaperään rapautumisprosessien mukana tullut hematiitti, jolla on voimakkaat pigmenttiominaisuudet. Harmaiden kekojen värin muodostavat rapautuneen marmorin kiviaines, joka sisältää kalsiittia, mutta josta hematiitti puuttuu. Kalsiitti on peräisin rapautuneen marmorin saostumisesta ja uudelleenkitetymisestä. Ruskeat näytteet ovat koostumukseltaan lähempänä harmaita kuin punaisia näytteitä. Niiden osalta taustalla on todennäköisesti maa-aineksen sekoittuminen. Marmorista rapautuneeseen ainekseen on sekoittunut punaista lateriittista maaperää.

Näillä menetelmillä saa luotettavaa tietoa termiittikekojen ja maaperän mineralogiasta ja niiden kemiallisesta koostumuksesta. Vaikka menetelmä ei anna suoraan tuloksia, joita voisi käyttää kallioperäkartoituksen menetelmänä, voidaan sitä käyttää karbonaattihorisonttien kartoitukseen. Koska Taita Hills Wildlife Sanctuaryn alue on rapautunut pitkän ajanjakson aikana ja kalliopaljastumia on alueella vähän, on kallioperäkartan tekeminen alueella haastavaa. Kallioperän tarkempi selvittäminen vaatisi lisää tutkimuksia perinteisten kallioperäkartoitusmenetelmien avulla.

8. KIITOKSET

Kiitän FM Pasi Heikkilää hyvästä ohjauksesta, professori Juha Karhua kaikesta tuesta ja professori Petri Pellikkaa näytteiden toimittamisesta. Lisäksi kiitän perhettäni ja ystäviäni tuesta pro gradun kirjoittamisen ja opintojen aikana. Kiitokset kuuluvat myös Taita Hillsin tutkimusaseman henkilökunnalle ja erityisesti sen johtajalle Mwadime Mjomballe kenttätöiden mallikkaasta organisoinnista.

VIITELUETTELO

- Arhin, E., Boadi, S. ja Esoah, M.C. 2015. Identifying pathfinder elements from termite mound samples for gold exploration in regolith complex terrain of the Lawra belt, NW Ghana. *Journal of African Earth Sciences* 109, 143–153.
- Cutten, H.N.C., De Waele, B. ja Johnson, S.P. 2005. The Mozambique Belt, eastern Africa: tectonic history in a regional setting. *Academia nacional de ciencias. Abstracts of Gondwana* 12, Mendoza 2005.
- Elatikpo, S.M., Danbatta, U.A. ja Najime, T. 2013. Geochemistry and Petrogenesis of Gneisses Around Kafur-Yari Bori-Tsiga area within the Malumfashi Schist Belt, Northwestern Nigeria. *Journal of Environment and Earth Science* 3, 171–181.
- Expert Africa. 2017. Map of Tsavo West National Park for safaris. Sivulla vierailtu 10.9.2018. <https://www.expertafrica.com/kenya/tsavo-west-national-park/reference-map>.
- Feneyrol, J., Giuliani, G., Ohnenstetter, D., Rondeau, B., Fritsch, E., Fallick, A.E., Ichang'I, D., Omoto, E., Rakotondrazafy, M., Ranatsenho, M. ja Lallier, F. 2014. New typology and origin of tsavorite based on trace-element chemistry. *European Journal of Mineralogy* 26, 293–308.
- Frisch, W. ja Pohl, W. 1986. Petrochemistry of some mafic and ultramafic rocks from the Mozambique Belt, SE-Kenya. *Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft* 78, 97–114.
- Fritz, H., Abdelsalam, M., Ali, K.A., Bingen, B., Collins, A.S., Fowler, A.R., Ghebreab, W., Hauzenberger, C.A., Johnson P.R., Kusky, T.M., Macey, P., Muhongo, S., Stern R.J. ja Viola, G. 2013. Orogen styles in the East African Orogen: A review of the Neoproterozoic to Cambrian tectonic evolution. *Journal of African Earth Sciences* 86, 65–106.
- Gachene, C.K.K. ja Kimaru, G. 2003. Soil Fertility and Land Productivity - A guide for extension workers in the eastern Africa region. Technical Handbook No. 30. Regional Land Management Unit (RELMA), Swedish International Development Cooperation Agency (Sida). English Press Limited, Nairobi, Kenya. 164 s.
- Graf, D.L. 1960. Geochemistry of Carbonate Sediments and Sedimentary Carbonate Rocks. Part IV-A. Isotopic Composition – Chemical Analyses. Division of the Illinois State Geological Survey, 308. 42 s.
- Hauzenberger, C.A., Sommer, H., Fritz, H., Bauernhofer, A., Kröner, A., Hoinkes, G., Wallbrecher, E. ja Thöni, M. 2007. SHRIMP U–Pb zircon and Sm–Nd garnet ages from the granulite-facies basement of SE Kenya: evidence for Neoproterozoic polycyclic assembly of the Mozambique Belt. *Journal of the Geological Society, London*, 164, 189–201.
- Helgeson, H.C., Garrels, R.M. ja Mackenzie, F.T. 1969. Evaluation of irreversible reactions in geochemical processes involving minerals and aqueous solutions—II. Applications. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 33, 455–481.
- Helsingin yliopisto. 2018. Taita Hills. Sivulla vierailtu 10.9.2018. <http://www.helsinki.fi/science/taita/taitahills.html>.
- Horiuchi, Y., Ohno, T., Hoshino, M., Shin, K-C., Murakami, H., Tsunematsu, M. ja Watanabe, Y. 2014. Geochemical prospecting for rare earth elements using termite mounds materials. *Mineralium Deposita* 49, 1013–1023.
- Horkel, A., Nauta, W.J., Nierdermayr G., Okello R.E.A., Pohl, W.L. ja Wachira, J.K. 1979. Geology of the Taita Hills Quadrangle (sisältää geologisen kartan 1:50.000), Report no 102, Geological Survey Kenya. 33 s.
- Johnson, S.P., Cutten, H.N.C., Muhongo, S., ja De Waele, B. 2003. Neoproterozoic magmatism and metamorphism of the western granulites in the central domain of the Mozambique belt, Tanzania: U-Pb SHRIMP geochronology and PT estimates: *Tectonophysics* 375, 125–145.

- Jouquet, P., Mamou, L., Lepage, M. ja Velde, B. 2002. Effect of termites on clay minerals in tropical soils: fungus-growing termites as weathering agents. *European Journal of Soil Science* 53, 521–527.
- Koilege T. 2011. Occurance, mineralogical composition and significance of laterites in Kenya. Department of Geology of the University of Nairobi (geologian kandidaatin tutkielma). 32 s.
- Kröner, A. ja Stern, R.J. 2004. Pan-African orogeny. Teoksessa *Encyclopedia of Geology*. Elsevier, Amsterdam 1, 1–12.
- Kugeria, M.P., Naftali, T., Muriithi, N.T ja Muthengia, J.W. 2014. Iron Enrichment In Laterites Soils From Selected Regions In Kenya Using Magnetic Separation. *IOSR Journal of Engineering* 04, 42–48.
- Kusky, T.M., Abdelsalam, M., Stern, R.J. ja Tucker, R.D. 2003. Evolution of the East African and Related Orogens, and the Assembly of Gondwana. *Precambrian Research* 123, 81–85.
- Lahermo, P., Väänänen, P., Tarvainen, T. ja Salminen, R. 1996. Suomen geokemian atlas, osa 3. Erikaisjulkaisut - Special Publications 20. Geologian Tutkimuskeskus, Espoo. 149 s.
- Liu, X., Monger, H.C. ja Whitford, W.G. 2007. Calcium carbonate in termite galleries — biomineralization or upward transport? *Biogeochemistry* 82, 241–250.
- Maitera, O.N., Kubmarawa, D. ja Ndahi, J.A. 2015. Minerals, Major and Trace Element Contents of Soils from Termitaria (Ant Mounds) and 10 Meter (10 M) Adjacent Soils in Girei, Adamawa, Nigeria. *International Journal of Scientific and Research Publications* 5, Issue 8, 1–9.
- Martikainen, N. 2017. Carbon isotope and elemental composition of sedimentary carbonate rocks in the Kurase group, Taita Hills, South Kenya. Pro gradu -tutkielma, Helsingin yliopisto, geotieteiden ja maantieteen laitos, 57 s.
- Meert, J.G. 2003. A Synopsis of Events Related to the Assembly of Eastern Gondwana. *Tectonophysics* 362, 1–40.
- Mujinya, B.B., Mees, F., Erens, H., Dumon, M., Baert, G., Boeckx, P., Ngongo, M. ja Van Ranst, E. 2013. Clay composition and properties in termite mounds of the Lubumbashi area, D.R. Congo. *Geoderma* 192, 304–315.
- Muvengwi, J., Davies, A.B., Parrini, F. ja Witkowski E.T.F. 2018. Geology drives the spatial patterning and structure of termite mounds in an African savanna. *Ecosphere* 9, 1–17.
- Nash, D.J. ja Shaw, P.A. 1998. Silica and carbonate relationships in silcrete-calcrete intergrade duricrusts from the Kalahari of Botswana and Namibia. *Journal of African Sciences* 27, 11–25.
- Nonnotte, P., Guillou, H., Le Gall, B., Benoit, M., Cotten, J., Scaillet, S. 2008. New K-Ar age determinations of Kilimanjaro volcano in the North Tanzanian diverging rift, East Africa. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 173, 99–112.
- Nyamai, C. M., Mathu, E.M., Opiyo-Akech, N. ja Wallbrecher, E. 2003. A Reappraisal of the geology, geochemistry, structures and tectonics of the Mozambique Belt in Kenya, East if the rift system. *African Journal of Science and Technology, Science and Engineering Series* 4, 51–71.
- Pohl, W. ja Horkel, A. 1980. Notes on the Geology and Mineral Resources of the Mtito Andei – Taita Area (Southern Kenya). *Mitt. Österreichische Geologische Gesellschaft*, 73, 135–152.
- Pohl, W. ja Niedermayr, G. 1979. Geology of the Mwatate Quadrangle and the Vanadium Grossularite Deposits of the Area (with a Geological Map 1:50 000). Report no 101, Geological Survey Kenya. 55 s.
- Reddy, L.C.S. 2014. Termite mound as an Effective Geochemical Tool in Mineral Exploration: A Study from Chromite Mining Area, Karnataka, India. *Research Journal of Chemical Sciences* 4, 85–90.
- Scoon, R, N. 2018. Geology of National Parks of Central/Southern Kenya and Northern Tanzania. Springer, Cham, 221 s.
- Strahler, A., Strahler, A. 1997. *Physical Geography: Science and Systems of the Human Environment*. John Wiley & Sons, New York, 637 s.

- Tardy, Y., Boeglin, J-L., Novikoff, A. ja Roquin, C. 1993. Petrological and geochemical classification of laterites. Teoksessa: Churchman, G.J., Fitzpatrick, R.W. ja Eggleton, R.A. (toim.) Clays, controlling the environment: proceedings of the 10th International Clay Conference, Adelaide, Australia, July 18 to 23, 1993, East Melbourne, 481–486.
- Taylor, G. 2006. Fundamentals of regolith geology. Regolith 2006 - Consolidation and Dispersion of Ideas. CRC LEME, Department of Earth and Marine Sciences, Australian National University, 343–345.
- Toya, H., Kadomura, H., Tamura, T., Hori, N. 1973. Geomorphological Studies in Southeastern Kenya. Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University 8, 51–137.
- Walsh, J. 1960. Geology of the Area South of the Taita Hills. Geological Survey Kenia. Report 49. 26 s.

LIITTEET

Liite 1.

Kekonäytteiden koordinaatit:

| Punaiset: | UTM | DMS |
|-----------|------------------|---------------------------------|
| C68: | 0416296, 9609584 | 3° 31' 54.7 S, 38° 14' 46.93 E |
| C77: | 0411386, 9606219 | 3° 33' 44.17 S, 38° 12' 7.7 E |
| S1: | 0412571, 9608031 | 3° 32' 45.2 S, 38° 12' 46.19 E |
| | | |
| Ruskeat: | | |
| C76: | 0412889 9606442 | 3° 33' 36.94 S, 38° 12' 56.45 E |
| C90: | 0412443, 9607584 | 3° 32' 59.75 S, 38° 12' 42.01 E |
| C91: | 0412336, 9607690 | 3° 32' 56.29 S, 38° 12' 38.56 E |
| Harmaat: | | |
| C92: | 0412704, 9606186 | 3° 33' 45.29 S, 38° 12' 50.44 E |
| C73: | 0413466, 9606300 | 3° 33' 41.58 S, 38° 13' 15.13 E |
| C75: | 0413326, 9606773 | 3° 33' 26.17 S, 38° 13' 10.6 E |

Liite 2.

XRF-tulokset Kenian Taita Hills Wildlife Sanctuaryn alueen termittikeoista.
Tulokset on normalisoitu 100 %.

| Bead | Punaiset | | S1 | Ruskeat | | C91 | Harmaat | | |
|--------------------------------|----------|-------|-------|---------|-------|-------|---------|-------|-------|
| | C68 | C77 | | C76 | C90 | | C92 | C73 | C75 |
| SiO ₂ paino-% | 72,52 | 77,39 | 74,21 | 68,85 | 71,13 | 70,51 | 62,62 | 62,89 | 61,36 |
| TiO ₂ | 0,69 | 0,85 | 0,95 | 0,59 | 0,56 | 0,66 | 0,56 | 0,63 | 0,67 |
| Al ₂ O ₃ | 17,88 | 15,01 | 16,74 | 13,39 | 12,31 | 11,48 | 13,31 | 12,25 | 13,15 |
| FeO | 4,95 | 5,03 | 5,53 | 3,59 | 3,94 | 4,09 | 4,19 | 4,21 | 4,53 |
| MnO | 0,06 | 0,05 | 0,08 | 0,11 | 0,16 | 0,19 | 0,24 | 0,09 | 0,09 |
| MgO | 0,46 | 0,18 | 0,23 | 1,11 | 1,34 | 1,16 | 1,57 | 1,74 | 1,94 |
| CaO | 0,84 | 0,19 | 0,3 | 7,26 | 6,42 | 8,14 | 13,3 | 13,64 | 13,76 |
| Na ₂ O | 0,64 | 0,2 | 0,36 | 2,07 | 1,65 | 1,2 | 2,03 | 1,44 | 1,57 |
| K ₂ O | 1,84 | 1 | 1,51 | 2,89 | 2,31 | 2,4 | 1,93 | 2,89 | 2,64 |
| P ₂ O ₅ | 0,11 | 0,09 | 0,1 | 0,14 | 0,18 | 0,17 | 0,25 | 0,22 | 0,28 |
| Summa | 100 | 100 | 100 | 100,01 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | | | | | | | | | |
| Ba ppm | 726 | 319 | 562 | 784 | 821 | 1304 | 945 | 1000 | 987 |
| Cr | 84 | 41 | 46 | 25 | 61 | 52 | 34 | 44 | 54 |
| Cu | 49 | 58 | 69 | 37 | 31 | 44 | 37 | 47 | 54 |
| Ni | 46 | 32 | 43 | 20 | 32 | 40 | 30 | 41 | 41 |
| Rb | 52 | 59 | 93 | 55 | 57 | 57 | 47 | 58 | 51 |
| Sr | 151 | 29 | 36 | 248 | 357 | 317 | 435 | 302 | 333 |
| V | 109 | 311 | 388 | 76 | 99 | 96 | 84 | 133 | 150 |
| Y | 17 | 42 | 59 | 20 | 18 | 24 | 26 | 20 | 22 |
| Zn | 33 | 28 | 26 | 43 | 46 | 45 | 53 | 55 | 55 |
| Zr | 263 | 17 | 22 | 205 | 225 | 241 | 184 | 194 | 219 |
| Nb | <28 | 62 | 35 | <28 | <28 | <28 | <28 | <28 | <28 |
| U | <11 | 35 | 21 | <11 | <11 | <11 | <11 | <11 | <11 |
| La | 19 | 88 | 100 | 26 | 19 | 18 | 31 | 31 | 28 |
| Ce | 25 | 2 | <2 | 26 | 27 | 37 | 48 | 56 | 53 |

Liite 3.

XRF-tulokset Kenian Taita Hills Wildlife Sanctuaryn alueen termittikekojen ympäristön (5 m) maaperänäytteistä. Tulokset on normalisoitu sataan 100 %.

| Bead | Punaiset | | | Ruskeat | | | Harmaat | | |
|--------------------------------|----------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|
| | C68S | C77S | S1S | C76S | C90S | C91S | C92S | C73S | C75S |
| SiO ₂ paino-% | 76,45 | 82,47 | 78,75 | 71,12 | 74,31 | 76,95 | 66,83 | 63,75 | 67,21 |
| TiO ₂ | 0,60 | 0,71 | 0,85 | 0,65 | 0,57 | 0,53 | 0,54 | 0,71 | 0,67 |
| Al ₂ O ₃ | 14,92 | 11,21 | 13,17 | 15,10 | 12,89 | 11,13 | 13,50 | 12,88 | 12,54 |
| FeO | 4,16 | 3,91 | 4,41 | 4,09 | 4,12 | 3,56 | 4,10 | 4,57 | 4,08 |
| MnO | 0,05 | 0,05 | 0,08 | 0,13 | 0,17 | 0,15 | 0,23 | 0,10 | 0,09 |
| MgO | 0,40 | 0,16 | 0,24 | 1,10 | 1,32 | 0,96 | 1,50 | 1,91 | 1,62 |
| CaO | 0,73 | 0,17 | 0,39 | 2,28 | 2,34 | 2,85 | 8,78 | 11,39 | 8,93 |
| Na ₂ O | 0,67 | 0,21 | 0,43 | 2,50 | 1,58 | 1,12 | 2,08 | 1,57 | 1,66 |
| K ₂ O | 1,90 | 0,99 | 1,59 | 2,91 | 2,49 | 2,62 | 2,22 | 2,90 | 3,00 |
| P ₂ O ₅ | 0,12 | 0,11 | 0,11 | 0,12 | 0,21 | 0,13 | 0,22 | 0,22 | 0,19 |
| Summa | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| | | | | | | | | | |
| Ba ppm | 787 | 329 | 632 | 787 | 917 | 1601 | 1033 | 1014 | 1157 |
| Cr | 79 | 55 | 56 | 39 | 48 | 46 | 42 | 48 | 39 |
| Cu | 35 | 21 | 35 | 30 | 31 | 38 | 25 | 44 | 29 |
| Ni | 40 | 23 | 31 | 22 | 33 | 37 | 25 | 41 | 30 |
| Rb | 52 | 35 | 47 | 62 | 55 | 58 | 43 | 63 | 58 |
| Sr | 167 | 60 | 99 | 223 | 233 | 193 | 356 | 303 | 299 |
| V | 97 | 62 | 82 | 89 | 102 | 91 | 85 | 142 | 133 |
| Y | 14 | 17 | 19 | 25 | 20 | 18 | 30 | 25 | 31 |
| Zn | 28 | 23 | 31 | 45 | 50 | 42 | 44 | 54 | 44 |
| Zr | 283 | 267 | 352 | 224 | 209 | 199 | 210 | 239 | 273 |
| Nb | <28 | 31 | 32 | <28 | <28 | <28 | <28 | <28 | <28 |
| U | <11 | <11 | <11 | <11 | <11 | <11 | <11 | <11 | <11 |
| La | 23 | 28 | 25 | 17 | 24 | 18 | 23 | 24 | 37 |
| Ce | 19 | 40 | 30 | 30 | 24 | 9 | 15 | 36 | 54 |